Lane Medical Library

Aus dem Ambulatorium der II. mediz. Universitäts-Klinik München
Direktor: Geheimrat Prof. Dr. v. Müller.

Kritische Bearbeitung der von Privatdozent E. Weiß-Tübingen angegebenen „neuen Methode zur Suffizienzprüfung des Kreislaufs".

Mit 15 schematischen Figuren
auf 4 als Anhang beigefügten Tafeln.

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der Doktorwürde
in der
gesamten Medizin
verfaßt und einer
Hohen medizinischen Fakultät
der
Bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München
vorgelegt von

Ferdinand Schmidt,
approb. Arzt aus Ansbach.

1924

C. BRÜGEL & SOHN A.G. IN ANSBACH.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153307_0123

Seiner lieben Mutter

in Dankbarkeit gewidmet.

Der Verfasser.

In der Zeitschr. f. exp. Pathologie u. Therapie Bd. 19. H. 3 Jahrg. 1918 S. 390—436 beschreibt Priv.-Doz. E. Weiß-Tübingen eine neue Methode zur Suffizienzprüfung des Kreislaufs. Sie besteht in der Feststellung des Manometerdrucks nach Absenken desselben unter das Blutdruckmaximum an dem durch das R.R.-Tonometer gestauten Oberarm bei gleichzeitiger mikroskopischer Beobachtung der Blutströmung in den Kapillaren des Nagelwallrandes. In der Höhe des Druckunterschiedes zwischen dem maximalen und dem bei Wiederbeginn der Kapillarströmung herrschenden, am Manometer ablesbaren Blutdruck glaubt Weiß einen Maßstab für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Kreislaufs gefunden zu haben. Entsprechend der gestellten *Aufgabe* wurde die Methode während des Sommers 1919 im Ambulatorium der II. med. Universitätsklinik zu München auf ihre Verwendbarkeit geprüft. Die folgenden Ausführungen werden sich daher zunächst mit einer allgemeinen Erörterung der Versuchsbedingungen befassen; sodann wird eine Besprechung der Weißschen Veröffentlichung selbst folgen, den Schluß endlich die Darlegung der eigenen Ergebnisse bilden.

Vorbemerkungen:

I. In den Boden des erhöht angebrachten Standgefäßes S sei eine an ihrem freien Ende mit einem Hahne H versehene Röhre R senkrecht eingefügt; beide seien bis zur Höhenmarke m mit rotem Wasser W gefüllt. Durch gleichmäßiges, wechselweises Öffnen und Schließen des Hahnes werde rotes Wasser aus R in das unterhalb der Ausströmungsöffnung aufgestellte Gefäß G abgelassen und die nach jedesmaligem Schluß des Hahnes abgeflossene Menge durch Aufgießen in S wieder ersetzt. Die Höhe h des Wasserstandes in S und R bleibt also vor jeder Hahnöffnung gleich. Dann ist auch die jedesmalige Ausströmungsgeschwindigkeit gleich und damit die mit einer Öff-

nung abströmende rote Flüssigkeitsmenge. Ergießt sich die rote Flüssigkeit in den freien Raum, so ist unter sonst gleichen Bedingungen die wirksame Druckhöhe in dem ober- und unterhalb des Hahnes herrschenden Druckgefälle gegeben; sie ist demnach identisch mit dem auf ihn lastenden hydrostatischen Druck, d. i. mit der Höhe des Wasserstandes. Taucht R in das Gefäß G ein (Tafel I, Fig. 1), so vermindert sie sich um den gleichen Betrag, um den die Füllung des Gefäßes G den Hahn übersteigt.

II. An die Zuflußröhre R sei in Höhe des Hahnes H eine mit farblosem Wasser gefüllte und mit einem geschlossenen Manometer M versehene Ansatzröhre G aus Glas wagrecht angeschlossen (Taf. I, Fig. 2a). Die sonstigen Verhältnisse in S und R seien die gleichen wie unter I). Bei Öffnung des Hahnes strömt aus R solange rote Flüssigkeit in die Glasröhre ein, bis zwischen dem Manometerdruck und dem hydrostatischen Druck der in S und R befindlichen Wassersäule Gleichgewichtszustand hergestellt ist. Die abgeströmte Flüssigkeitsmenge werde nach Hahnschluß in S wieder ersetzt. Da nunmehr das Druckgefälle infolge des Druckanstieges in G bereits vermindert ist, strömt bei einer 2. Öffnung in kürzerer Zeit eine geringere Menge unter geringerem Druckanstieg nach G ab. Man könnte den Hahn zum zweiten Male schließen, die abgeströmte Menge in S wieder ergänzen und dieses Verfahren solange wiederholen, bis der Innendruck in G nach Hahnschluß gleich ist dem auf dem Hahne lastenden hydrostatischen Druck und auch bei Hahnöffnung keine rote Flüssigkeit mehr abströmt. Dabei nehmen zugeführte Flüssigkeitsmenge, Druckanstieg und Einströmungszeit in einem unabhänderlicen, konstanten Verhältnis zueinander ab und es tritt der Endzustand unter sonst gleichen Bedingungen nach Zustrom einer bestimmten Flüssigkeitsmenge bei einem entsprechenden Manometerdruck nach einer bestimmten, stets gleichen Anzahl von Hahnöffnungen ein.

Durch das Eindringen von Flüssigkeit aus R in die bereits gefüllte Glasröhre G wird deren Inhalt nicht nur unter erhöhten Druck gesetzt, sondern auch von der Einströmungsstelle abgedrängt und in das Manometer eine der zugeströmten gleich-

*

kommende Flüssigkeitsmenge eingepreßt. Da das Kaliber von R kleiner ist als das von G, so erfolgt der Zustrom nach Öffnung des Hahnes in einem Strahl, der sich alsbald in Wirbel auflöst, eine Erscheinung, die man Turbulenz nennt. Es sei beigefügt, daß die hier einschlägigen Gebiete über die räumliche Verteilung der roten Flüssigkeitsteilchen in der Physik noch völlig unerforscht sind. Zur Veranschaulichung der Geschwindigkeit, mit der die Flüssigkeitsverschiebung erfolgt, beobachte man das Erscheinen der ersten roten Flüssigkeitsteilchen i. d. Mitte der Glasröhre bei Punkt Bo. Unter sonst gleichen Bedingungen ist dies nach Zustrom einer bestimmten Flüssigkeitsmenge bei einem entsprechenden Manometerdruck nach einer bestimmten, stets gleichen Anzahl von Hahnöffnungen der Fall.

III. Die Glasröhre G werde des weiteren durch einen Kautschukschlauch K von beliebiger elastischer Dehnbarkeit ersetzt. Zur Ermöglichung der Beobachtung der Flüssigkeitsverschiebung sei in seine Mitte bei Bo ein schmaler Glasring eingefügt; die sonstige Anordnung sei die gleiche wie unter II) (Taf. I, Fig. 2b). Die elastische Dehnbarkeit läßt sich ausdrücken durch den Druck, der nötig ist um eine bestimmte, stets gleiche Wassermenge in den bereits gefüllten Schlauch einzupressen und zwar ist sie um so größer, je geringer jener ist. Sie kann geändert werden entweder durch Verwendung gleichen Materials bei verschiedener Wandstärke oder durch Verwendung von Material mit verschiedener Elastizität, aber gleicher Wandstärke. Demgemäß könnte man eine unendliche Reihe von Schläuchen einfügen, von denen der erste bezüglich der elast. Dehnbarkeit einer starren Röhre, der letzte aber dem völlig geöffneten Zustand annähernd gleichkäme. Durch ersteren wird der einströmenden Flüssigkeit bei Hahnöffnung der größte, durch letzteren der geringste Widerstand entgegengesetzt. Je nach dem Grade der elast. Dehnbarkeit des Schlauches tritt der Gleichgew.-zustand erst nach Zustrom einer größeren roten Flüssigkeitsmenge bei relativ niedrigerem Enddruck nach längerer Zeit ein. Bei gleicher Öffnungszeit wie unter II) strömt somit eine größere Menge bei geringerem Enddruck zu; die Zufuhr der gleichen Menge erfordert jedoch eine kürzere Öffnungszeit bei geringstem

Enddruck; der gleiche Enddruck schließlich wird erst nach Zufuhr einer erheblich größeren Flüssigkeitsmenge nach längerer Öffnungszeit erreicht. Bezogen auf die gleiche Menge verkürzt also die elast. Dehnbarkeit die Öffnungszeit, bezogen auf den gleichen Enddruck verlängert sie dieselbe.

Die Ausdehnung des Kautschukschlauches erfolgt unter den vorliegenden Bedingungen nach Höhe und Tiefe. Die eingeströmte Flüssigkeit nimmt voraussichtlich an dieser Bewegung teil und verteilt sich daher nicht wie unter II) in vorwiegend axialer, sondern auch in den anderen beiden Dimensionen des Raumes. Die Mitte des Schlauches wird sonach erst nach Zufuhr einer größeren roten Flüssigkeitsmenge bei geringerem Enddruck nach längerer Öffnungszeit erreicht und zwar nimmt die Verzögerung mit der elast. Dehnbarkeit zu, die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsverschiebung in axialer Richtung also ab.

IV. a) Nun werden Glasröhre und Kautschukschlauch genau halbiert. An die Zuflußröhre R sei wie unter II) die eine Hälfte der Glasröhre, an deren freies Ende die andere, das Manometer tragende Hälfte des Kautschukschlauches angeschlossen. Ausmaße und Füllung seien die gleichen wie unter II) und III). Die vorher entweder einheitlich starre oder einheitlich elast. Ansatzröhre besteht demnach nunmehr aus einem stromaufwärts gelegenen starren und einem stromabwärts gelegenen elast. Teil. Zwischen beiden Teilen ist sonach ein Unterschied bezüglich ihrer elast. Dehnbarkeit vorhanden, der mit dem Grade der letzteren zunimmt. Auch hier kann man als zweite Hälfte eine unendliche Reihe von Schläuchen einfügen, von denen der erste einer starren Röhre, der letzte dem völlig geöffneten Zustande annähernd gleichkommt, und es ließe sich beispielsweise eine Anordnung herstellen, bei der bereits nach der ersten Hahnöffnung und eingetretenem Gleichgewichtszustand in dem elastischen Teil genau die doppelte Menge Flüssigkeit wie in dem starren sich befindet (Taf. I, Fig. 2 a b). Da die Oberfläche des elast. Teiles kleiner ist als unter III), so wird bei gleicher Dehnbarkeit der gleiche Enddruck nach Zufuhr einer geringeren Menge roter Flüssigkeit in kürzerer Zeit, umgekehrt nach Zufuhr der gleichen Flüssigkeitsmenge in längerer Zeit ein höherer End-

druck, bei gleicher Öffnungszeit nach Zufuhr einer geringeren Flüssigkeitsmenge ein höherer Enddruck erreicht. Ist die elast. Dehnbarheit des stromabwärts gelegenen Teiles nur gering, so sind ähnliche Verhältnisse wie unter II) gegeben, demgemäß erscheinen die ersten roten Flüssigkeitsteilchen unter annähernd den gleichen Werten wie unter II) an der Beobachtungsstelle. Mit Zunahme des Unterschiedes in der Dehnbarkeit der beiden Teile wird jedoch die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsverschiebung erhöht, sodaß die ersten roten Flüssigkeitsteilchen bei einem niedrigeren Enddruck nach Zufuhr einer geringeren Flüssigkeitsmenge in kürzerer Zeit an der Beobachtungsstelle eintreffen, es wird also die rote Flüssigkeit von dem stromabwärts gelegenen elastischen Teile der Anordnung gleichsam angesogen.

b) Die Anordnung werde nun umgekehrt und die elastische Hälfte an die Zuflußröhre R, die starre, das Manometer tragende an deren freies Ende angeschlossen. Bei Hahnöffnung tritt in den stromabwärts gelegenen, starren Teil nur soviel Flüssigkeit über, als der durch den Druckanstieg bedingten Verschiebung im Manometer entspricht; auch hier ließe sich ein Zustand herstellen, bei dem nach eingetretenem Gleichgewichtszustand in dem stromaufwärts gelegenen elast. Teil genau doppelt soviel Flüssigkeit wie im starren sich befindet (Taf. I, Fig. 2 b a). Die zugeströmte Flüssigkeit ist in diesem also gleichsam angestaut, die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsverschiebung daher verzögert und die Beobachtungsstelle wird bei gleicher Elastizität wie unter a) voraussichtlich erst nach Zufuhr einer größeren Flüssigkeitsmenge bei höherem Enddruck nach längerer Öffnungszeit von den roten Flüssigkeitsteilchen erreicht.

Unter sonst gleichen Bedingungen wirkt somit einheitliche Starrheit der Ansatzröhre auf die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsverschiebung innerhalb derselben im beschleunigenden, einheitliche elast. Dehnbarkeit im verzögernden, starr-elast. Anordnung im beschleunigenden, elast.-starre im verzögernden Sinne. Der beste Strömungseffekt bei geringster Flüssigkeitszufuhr unter geringstem Druckanstieg wird mit starr-elast. Anordnung erzielt.

Bei Ausführung der Methode ergibt sich am Arm nach vollständiger Abklemmung durch die Manschette des Tonometers ein vom übrigen Kreislauf getrenntes, in sich geschlossenes Gefäßgebiet, das unter Zurückführung auf seine einfachste Anordnung aus zwei parallel zueinander verlaufenden Schenkeln, einem zuführenden arteriellen (Taf. I, Fig. 3; a) und einem abführenden venösen (v), sowie aus einem die beiden verbindenden, halbkreisförmigen Übergangsstück (ü) besteht. Die Anordnung trägt somit im ganzen eine U-Form; da sie sich aber in jedem Abschnitt des in Frage kommenden Gefäßgebietes, der die genannte Gliederung aufweist, vorfindet, so bildet sie die *allgemeine anatomische Grundform* für das Experiment.

Vor der Abklemmung hat in den Gefäßen des Armes infolge des in ihnen vorhandenen Druckgefälles, das bei einem arteriellen Blutdruck von beispielsweise 90/120 in der Brachialis und einem venösen von etwa 5 in der Mediana cubiti 85 bzw. 115 mm Hg. betrug, eine ununterbrochene Strömung geherrscht. Nach Abklemmung findet daher im Gefäßgebiet ein Druckausgleich statt, bei dem Blut aus den Arterien durch die Kapillaren in die Venen übertritt. Der schließlich sich ergebende *Ausgleichsdruck* beträgt nach dem von W e i ß in der Mediana cubiti vorgenommenen Messungen etwa 25 mm Hg.; da die Druckübertragung durch das Kapillarsystem hindurch erfolgt, so ist er für die Arterien eher etwas höher anzusetzen, er sei aber als im gesamten abgeklemmten Gebiet gleichmäßig verteilt angenommen (Taf. I, Fig. 4).

Mit Absenken des übermaximalem Manometerdrucks auf den Maximaldruck wird dem Manometerdruck durch den Blutdruck gerade noch das Gleichgewicht gehalten; es erfolgt daher noch kein Abstrom von Blut. Sinkt jedoch der Manometerdruck unter das Blutdruckmaximum, so wird die Arterie geöffnet und erst wieder geschlossen, sobald mit Ablauf der Pulswelle der Manometerdruck wieder erreicht ist. In das auf der venösen Seite gestaute Gefäßgebiet wird somit zunächst wechselweise Blut eingespritzt, wobei anfänglich gleichsam nur die Kuppe der Pulswelle peripherwärts überfließt (Taf. II, Fig. 5). Als Zuflußrohr kommt, wenn man von Varietäten der Teilungs-

stelle und vom Kollateralkreislauf absieht, allein die Art. brach. in Betracht, die durch die Manschette des Tonometers an den Humerus angepreßt wird. Die Öffnungszeit (Ö.Z.) der Art. entspricht dabei der Ablaufszeit der Pulswelle (P.W.) bezogen auf einen gegebenen Manometerdruck und zwar ist sie um so länger, je tiefer der Senkungsdruck liegt und wird mit Erreichung des Pulsdruckminimums = der Ablaufszeit der Pulswelle. Bleibt der Senkungsdruck unverändert auf gleicher Höhe erhalten (Fig. 5), so ist auch unter sonst gleichen Bedingungen die mit jeder Pulswelle *abströmende Blutmenge* gleich und zwar ist sie um so größer, je tiefer der Senkungsdruck liegt. Unter sonst gleichbleibenden Bedingungen entspricht somit einer bestimmten Öffnungszeit der Abstrom einer stets gleichen Blutmenge. Die Verschlußzeit, d. i. die Zeit zwischen zwei Art. Öffnungen, ist um so kleiner, je tiefer der Senkungsdruck liegt und wird mit Erreichung des Pulsdruckminimums = 0. Unterhalb des Minimaldrucks ist die Art. dauernd geöffnet und der Zustrom wird kontinuierlich.

Bei gleicher Differenz zwischen Maximal- und Senkungsdruck hängt die abströmende Blutmenge unter sonst gleichen Bedingungen ab von der absoluten Höhe des Maximaldrucks und zwar ist sie um so größer, je höher derselbe liegt; ebenso von der Beschaffenheit der Pulswelle und zwar ist sie um so größer, je länger dieselbe ist (Taf. II, Fig. 6).

Zum Abstrom der gleichen Blutmenge ist je nach Lage des Senkungsdrucks unter sonst gleichen Bedingungen eine verschieden große Anzahl von Pulswellen notwendig und zwar ist diese um so größer, je höher der Senkungsdruck liegt. Einer bestimmten, dem gestauten Gefäßgebiet zugeführten Blutmenge entspricht sonach unter sonst gleichen Bedingungen bei einem gegebenen, auf gleichen Betrag gehaltenen Senkungsdruck eine stets gleiche Anzahl von Pulswellen.

Mit Absenken des Manometers erweitert sich der anfangs kapillare Spalt der Einströmungsstelle, bis mit dem Pulsdruckminimum ihr Querschnitt die Weite erreicht hat, die der Art. bei unbehindertem Kreislauf zukommt. Zur Überwindung der kapillaren Widerstände wird um so mehr Energie verbraucht

und ist die unter sonst gleichen Bedingungen abströmende Blutmenge relativ um so geringer, je höher der Senkungsdruck liegt.

Je rascher das Absinken des Manometers vom Blutdruckmaximum auf das Pulsdruckminimum erfolgt, desto weniger Pulswellen werden geschnitten, desto geringer ist die während der Senkungszeit, desto größer die in der Zeiteinheit abströmende Blutmenge und umgekehrt (Taf. II, Fig. 7). Man kann das Manometer während einer Verschlußzeit so rasch absenken, daß sich mit der nächsten Art.-Öffnung eine volle Pulswelle nach abwärts ergießt. Um die gleiche Blutmenge in das gestaute Gefäßgebiet zu befördern, ist bei langsamem Absenken eine größere, bei schnellem eine geringere Anzahl von Arterienöffnungen nötig. Der gleichen Senkungsgeschwindigkeit entspricht unter sonst gleichen Bedingungen der Abstrom einer stets gleichen Blutmenge. Bei einer gegebenen Druckdifferenz zwischen Maximal- und Senkungsdruck ist die abströmende Menge um so größer, je langsamer das Absenken erfolgt. Bei gleichmäßigem Absenken des Manometers ist unter sonst gleichen Bedingungen die abströmende Menge um so größer, je tiefer der Senkungsdruck liegt. Bei einer gegebenen Druckdiff. ist unter sonst gleichen Bedingungen bei gleichmäßigem Absenken die Anzahl der Pulsschläge während der Senkungszeit und damit die mit ihnen abströmende Blutmenge gleich.

Der Betrag des Druckes, welcher das Blut mit einer gewissen Geschwindigkeit in das gestaute Gefäßgebiet treibt, ist in dem ober- und unterhalb der Einströmungsstelle herrschenden *Druckgefälle* gegeben. Sein oberer Grenzwert ist bestimmt durch die jeweilige absolute Höhe des Blutdrucks und weist mit diesem die wechselweisen pulsatorischen Schwankungen zwischen beispielsweise 90/120 mm Hg auf. Sein unterer Grenzwert ist bestimmt durch den im gestauten Gefäßgebiet bestehenden *Stauungsdruck*, dessen anfänglicher Betrag dem Ausgleichsdruck von 25 mm Hg gleichkommt. Unter der Annahme eines unbehinderten Abflusses der zugeströmten Blutmenge steigt bei einem während der Öffnungszeit unverändert auf beispielsweise 100 mm Hg gehaltenen Senkungsdruck (Taf. II,

Fig. 8) das Druckgefälle von 100 — 25 = 75 als geringsten auf 120 — 25 = 95 mm Hg als höchsten Betrag an um mit Abfall des Blutdrucks auf den Betrag des Senkungsdrucks wieder seinen anfänglichen Wert zu erreichen. In Wirklichkeit erfährt jedoch der Stauungsdruck solange eine Zunahme, bis mit dem Absenken des Manometers unter den Venendruck im Gefäßgebiet des Armes eine ununterbrochene Strömung wiederhergestellt ist. Während der obere Grenzwert des Druckgefälles bei einem auf gleicher Höhe gehaltenen Senkungsdruck für jede Pulswelle gleich bleibt, wird sein Gesamtwert um den gleichen Betrag vermindert, um den der untere ansteigt. Mit Abnahme des Druckgefälles aber geht eine Herabsetzung der Einströmungsgeschwindigkeit einher. Dadurch erleidet die dem gestauten Gefäßgebiet zugeführte Blutmenge einen Verlust und es ließe sich theoretisch ein Zustand herstellen, bei dem durch entsprechendes Absenken des Manometers während der Öffnungszeit einer Pulswelle unter sonst gleichen Bedingungen dieser Verlust ausgeglichen und mit jeder Pulswelle genau die gleiche Blutmenge abströmen würde als ob kein Anstieg des Stauungsdrucks stattgefunden hätte.

(In Fig. 8 und 8a sowie in Fig. 9 und 9a sind die in Wirklichkeit gegebenen Verhältnisse schwarz, die auf die Menge bezüglichen rot gezeichnet. Die Pfeile bedeuten die Richtung der Linienführung. Blutdruck = 90/120, Pulsfrequenz = 60. Der während einer Verschlußzeit abgesenkte, auf gleicher Höhe gehaltene Senkungsdruck = 100 mm Hg.)

1. Bei Abstrom des Blutes in den freien Raum mit einem Blutdruckminimum von 0, einem Maximum von 20 mm Hg wäre das Druckgefälle an der Ausströmungsöffnung in der jeweiligen Höhe der Pulsdruckkurve gegeben. Die unter diesen Bedingungen mit jeder Pulswelle abströmende „geringste Menge" würde bei Abstrom in ein bereits gefülltes, unter einem anfänglichen Innendruck von 0 mm Hg stehendes Gefäßgebiet infolge der während der Dauer des Zustroms eintretenden Abnahme des Druckgefälles einen Verlust erleiden.

2. Bei Abstrom in den freien Raum, einem Pulsdruck von 90/120 und einem auf 100 mm Hg unverändert gehaltenen

Senkungsdruck wäre das Volumen der Blutmenge durch die oberhalb der Ausströmungsöffnung bestehenden Druckverhältnisse bestimmt und das Druckgefälle in der jeweiligen Höhe des Blutdrucks gegeben. Die so abströmende „größtmögliche Blutmenge" würde bei Abstrom in ein gefülltes, unter einem anfänglichen Innendruck von 0 mm Hg stehendes Gefäßgebiet infolge der während der Dauer des Zustroms eintretenden Abnahme des Druckgefälles einen Verlust erleiden.

3. Bei Abstrom des Blutes in ein bereits unter einem gewissen Stauungsdruck von beispielsweise 25 mm Hg stehendes Gefäßgebiet, aus dem die jeweils zuströmende Menge durch ein Ventil wieder entweichen könnte, in welchem also während der Öffnungszeit kein Anstieg des Stauungsdrucks und damit keine Abnahme des Druckgefälles stattfindet, würde die nunmehr abströmende „absolute Blutmenge" gegenüber der größtmöglichen einen Verlust erleiden, dessen Betrag unter sonst gleichen Bedingungen von der absoluten Höhe des Stauungsdrucks abhängt.

4. Durch die in Wirklichkeit während des Zustroms der ersten Pulswelle stattfindende Abnahme des Druckgefälles erleidet die „wirkliche Blutmenge der 1. Pulswelle" gegenüber der absoluten einen Verlust.

Das in einem dünnen Strahl eingespritzte Blut nimmt einen Raum ein, dessen Ausmaße in der Senkrechten durch die Differenz zwischen Maximal- und Senkungsdruck, in der Wagrechten durch die Öffnungszeit und nach der Tiefe hin durch die Einströmungsgeschwindigkeit bestimmt sind. Vergleicht man die unter 1—4 beschriebenen Mengen bezüglich dieser Größen miteinander, so ergibt sich, daß die beiden ersten überall gleich, die letzte aber jedesmal verschieden sind. *Das räumlich gedachte Gebilde, das hinsichtlich seines Volumens der unter den jeweiligen Verhältnissen abströmenden Blutmenge gleichkommt,* besitzt daher für jede dieser Mengen in der Senkrechten und Wagrechten die gleiche, nach der Tiefe hin jedoch eine jedesmal verschiedene Ausdehnung. Für die geringste Menge erhielte man gleichsam als Urbild eine Figur von flach kegelförmiger Gestalt mit ebener Grundfläche und leicht gewellten Seitenflächen- und Rändern, die jedoch bei der größtmöglichen nach der Tiefe hin

größer ist, da bei ihrem Abstrom im Augenblick der Arterienöffnung ein größeres Druckgefälle besteht; bei dem der absoluten ist diese Tiefenausdehnung von einem gewissen, dem erhöhten Stauungsdruck entsprechenden Betrag vermindert.

Nimmt man aus dem der absoluten Blutmenge seinem Volumen nach gleichkommenden, räumlich gedachten Gebilde das in ihm enthaltene der wirklichen heraus, so stellt der übrigbleibende Restbestand jenen Verlust dar, den die wirkliche Blutmenge der ersten Pulswelle gegenüber der absoluten erleidet. Da zwischen beiden Gebilden ein Unterschied nur in der Tiefenausdehnung besteht, so sitzt das den Verlust darstellende dem der wirklichen wie ein Mantel auf und ergänzt es nach Form und Rauminhalt zu dem der absoluten.

Der gleiche Verlust entsteht auch dann, wenn man den Manometerdruck während des Abstroms der absoluten Menge entsprechend ansteigen läßt. In diesem Falle bleibt die Einströmungsgeschwindigkeit unverändert, Druckdifferenz und Öffnungszeit der Pulswelle erfahren jedoch eine Verminderung. Das der nunmehr abströmenden, seinem Volumen nach der wirklichen Blutmenge der 1. Pulswelle gleichkommende, räumlich gedachte Gebilde besitzt somit die gleiche Tiefenausdehnung wie das der absoluten, ist aber nach Höhe und in der Wagrechten von ihm verschieden. Das den Mengenverlust darstellende Gebilde erhält in diesem Fall daher die Form eines in der Wagrechten sich verjüngenden Keiles, der, dem mantelförmigen dem Volumen nach gleichkommend, dem der wirklichen Blutmenge unten anliegt und dieses zu dem der absoluten ergänzt.

Der *Längsschnitt* durch solch ein räumlich gedachtes Gebilde ist in einer durch die Druck- und Zeitlinie bestimmten Ebene gelegen. Er wird sonach unten durch die Öffnungszeitlinie, oben durch den Verlauf der Pulskurve (P.K.), beide bezogen auf den gegebenen, unveränderlichen Senkungsdruck begrenzt (Fig. 8). Der parallel zur Zeitlinie gerichtete Verlauf der „absoluten Senkungslinie 100“ bedeutet daher bezüglich der abströmenden Blutmenge den während der Dauer des Abstroms unverändert bleibenden Stauungsdruck. Da diese Bedingung für den Abstrom der absoluten Blutmenge erfüllt ist, so stellt

die von der „Öffnungszeitlinie“ und der Pulskurve umgrenzte Figur den Längsschnitt durch ein räumlich gedachtes Gebilde dar, das nach seinem Volumen der absoluten Blutmenge gleichkommt.

Der Anstieg des Manometers, der bezüglich des dadurch entstandenen Mengenverlustes der absoluten Blutmenge dem in Wirklichkeit erfolgenden Anstieg des Stauungsdrucks gleichkommt, wird dargestellt durch die vom Schnittpunkt des aufsteigenden Astes der Pulskurve mit der absoluten Senkungslinie gegen den absteigenden Ast derselben geführte „Mengenlinie m_1 der 1. Pulskurve“. Sie bildet mit der abs. Senkungslinie einen Winkel, dessen Größe von dem wirklichen Mengenverlust der ersten Pulswelle abhängt, und begrenzt so nach oben den Längsschnitt durch das diesen Mengenverlust seinem Volumen nach gleichkommende, räumlich gedachte, keilförmige Gebilde. Gleichzeitig bildet sie die untere Grenzlinie des Längsschnittes durch das räumlich gedachte Gebilde, das nach seinem Volumen der wirkl. Blutmenge der 1. Pulswelle gleichkommt. Damit ist gezeigt, daß es sich nicht um ein statisches, sondern um ein räuml. gedachtes Gebilde handelt, das in einem einzigen Punkt der Circumferenz seiner Grundfläche die des absoluten tangiert. Berechnung und Konstruktion dieses Gebildes aber liegen im Bereiche der höheren Mathematik.

Im einzelnen ist zur *Erläuterung von Fig. 8* folgendes anzuführen:

Punkt S_{1a} bezeichnet den Schnittpunkt des aufsteigenden Astes der 1. P.K. mit der abs. Senkungslinie 100. Er bedeutet den Beginn der Ö.Z. der 1. P.W.

Punkt S_{1b} bezeichnet den Schnittpunkt des absteigenden Astes der 1. P.K. mit der abs. Senkungslinie 100. Er bedeutet die Beendigung der Ö.Z. der 1. P.W.

Linie S_{1a}—S_{1b} bedeutet sonach die Öffnungszeit der 1. P.W. bezogen auf den abs. Senkungsdruck 100, bezüglich der abströmenden Blutmenge den während der Ö.Z. unverändert bleibenden Stauungsdruck.

Punkt S_{1t} bezeichnet den Schnittpunkt der von Punkt S_{1a} ausgehenden Mengenlinie m_1 der 1. P.K. mit den absteigenden

Ast derselben. Er bedeutet den Schluß der Ö.Z. für den Abstrom der der wirkl. der 1. P.W. gleichkommenden Blutmenge.

Linie d_1 bezeichnet die von Punkt S_{1t} auf die Öffnungszeitlinie gefällte Senkrechte. Ihre Länge hängt ab von dem Winkel, den die Mengenlinie m_1 mit der abs. Senkungslinie bildet; sie bedeutet sonach den wirkl. Mengenverlust der 1. P.W.

Jede der die Pulskurve schneidenden Geraden begrenzt nach unten den Längsschnitt durch ein räumlich gedachtes Gebilde, das nach seinem Volumen einer unter den angegebenen Verhältnissen abströmenden Blutmenge gleichkommt. In *Fig. 8a* ist die *Analyse der 1. P.K.* nach den in ihr enthaltenen Längsschnittflächen durchgeführt.

In Fig. $8a_1$ bedeutet die rot schraffierte Fläche die absolute,

in Fig. 8a die wirkliche,

in Fig. $8a_3$ diejenige Blutmenge, welche abfließt, wenn der nach Abstrom der wirkl. der 1. P.W. sich ergebende Stauungsdruck bereits zu Beginn derselben besteht und während seiner Dauer auf gleicher Höhe gehalten wird.

Der wirkl. Mengenverlust der 1. P.W. ist in Fig. 8 durch die nicht schraffierte, annähernd dreieckige Fläche S_{1a} S_{1t} S_{1b} der P.K. dargestellt.

Punkt T_1 der Drucklinie bezeichnet den Schnittpunkt derselben mit der durch Punkt S_{1t} parallel zur abs. Senkungslinie gegen die Drucklinie geführten Geraden. Er bedeutet den Druckwert, auf den man das Manometer während des Abstromes der abs. Blutmenge ansteigen lassen muß um eine der wirklichen gleichkommende nach abwärts zu befördern.

Punkt P_{1a} der Drucklinie bedeutet den Druckwert auf den man das Manometer während der Ö.Z. der 1. P.W. unter den wirklichen Verhältnissen absenken muß um mit dieser die abs. Blutmenge nach abwärts zu befördern. Seine Lage unterhalb des Punktes 100 wurde beliebig angenommen. —

Der Stauungsdruck erfährt durch den Zustrom der wirkl. Blutmenge der 1. P.W. einen Anstieg und erreicht mit Beendigung der Ö.Z. der 1. P. W. einen gewissen Wert und sei während der nun folgenden Verschlußzeit als gleichmäßig fortbestehend angenommen (Taf. III, Fig. 9). Sind die dem Abstrom der absol.

Blutmenge analogen Bedingungen weiterhin vorhanden, so bleibt der Stauungsdruck auch während der Ö.Z. der 2. P.W. unverändert, nur wird der „relative Senkungsdruck" nicht wie bei der 1. P. W. auf 100, sondern auf dem nach Abstrom der wirklichen Blutmenge der 1. P.W. sich ergebenden, erhöhten Betrag gehalten. Das der nunmehr abströmenden „relativen Blutmenge der 2. P. W." bezüglich seines Volumens gleichkommende, räumlich gedachte Gebilde ist also dem der absol. ähnlich und unterscheidet sich von ihm nur durch eine geringere Höhe; es stellt sonach die in einem gewissen Abstand parallel zu seiner Grundfläche abgeschnittene Kuppe des absoluten dar.

In Wirklichkeit erfährt der Stauungsdruck mit dem Beginn des Zustroms der „wirkl. Blutmenge der 2. P.W." erneut einen Anstieg. Da ersterer durch den Zustrom der wirkl. Blutmenge der 1. P. W. bereits erhöht ist, so ist die wirkl. der zweiten nicht nur von vornherein geringer als die der ersten, sondern auch der Verlust, den sie gegenüber der relativen erleidet, absolut wie relativ geringer als der Verlust der wirkl. der 1. gegenüber der absoluten. Die „Mengenlinie der 2. P.K." bildet daher mit der Linie des rel. Senkungsdrucks einen kleineren Winkel als die der 1. mit der des absoluten. Gleichzeitig bezeichnet sie die untere Grenzlinie des Längsschnittes durch ein räumlich gedachtes Gebilde, das nach seinem Volumen der wirkl. Blutmenge der 2. P.W. gleichkommt; es stellt sonach die unter einem gewissen Winkel und in Höhe des relativen schräg abgeschnittene Kuppe des absoluten dar.

Im einzelnen ist zur *Erläuterung von Fig. 9* folgendes anzuführen:

Punkt S_{2a} bezeichnet den Schnittpunkt des aufsteigenden Astes der 2. P.K. mit der abs. Senkungslinie 100. Er bedeutet den Beginn der Ö.Z. der 2. P.W.

Linie $S_{1b} - S_{2a}$ bedeutet die Verschlußzeit der Arterie bezogen auf den absoluten Senkungsdruck 100, für die Blutmenge den während der Verschlußzeit auf gleicher Höhe gehaltenen Stauungsdruck.

Punkt S_{2b} bezeichnet den Schnittpunkt des absteigenden Astes der 2. P.K. mit der abs. Senkungslinie 100. Er bedeutet die Beendigung der Ö.Z. der 2. P.W.

Linie S_{2a} — S_{2b} bedeutet die Öffnungszeit der 2.P.W. bezogen auf den absolut. Senkungsdruck 100, für die abströmende Blutmenge den während des Ablaufs der 2. P. W. auf gleicher Höhe gehaltenen Stauungsdruck. Sie ist gleich Linie S_{1a} — S_{1b} der 1. P.K.

Punkt S_{2r} bezeichnet den Schnittpunkt des aufsteigenden Astes der 2. P.K. mit der Linie des rel. Senkungsdrucks. Er bedeutet den Beginn der Ö.Z. für den Abstrom der rel. Blutmenge der 2. P.W. und entspricht Punkt S_{1a} der 1. P.K.

Linie S_{1t} — S_{2r} bedeutet die Verschlußzeit der Arterie bezogen auf den rel. Senkungsdruck, für die abströmende Blutmenge den während der Verschlußzeit auf gleicher Höhe gehaltenen Stauungsdruck und entspricht Linie S_{1b} — S_{2a}, ist aber länger als diese.

Punkt S_{2p} bezeichnet den Schnittpunkt des absteigenden Astes der 2. P.K. mit der Linie des rel. Senkungsdrucks. Er bedeutet die Beendigung der Ö.Z. für den Abstrom der rel. Blutmenge der 2. P.W.

Linie S_{2r} — S_{2p} bedeutet die Öffnungszeit der 2. P.W. bezogen auf den rel. Senkungsdruck, ihr parallel zur Zeitlinie gerichteter Verlauf den während des Ablaufs der 2. P.W. auf gleicher Höhe gehaltenen Stauungsdruck und entspricht Linie S_{1a}-S_{1b} der 1. P.K., ist aber kürzer als diese.

Punkt S_{2t} bezeichnet den Schnittpunkt der von Punkt S_{2r} ausgehenden Mengenlinie m_2 der 2. P.K. mit dem absteigenden Aste derselben. Seine Lage wird bestimmt durch den Winkel, den die Mengenlinie m_2 mit der rel. Senkungslinie bildet und entspricht Punkt S_{1t} der 1. P.K., liegt aber relativ niedriger als dieser.

Linie d_2 bezeichnet den Abstand des Punktes S_{2t} von der rel. Senkungslinie. Sie bedeutet den Anstieg, den der Stauungsdruck während des Zustroms der wirkl. Menge der 2. P.W. erfährt und entspricht Linie d_1 der 1. P.K., ist aber kürzer als diese.

Linie $d_2 + d_1$ bezeichnet den Abstand des Punktes S_{2t} von der abs. Senkungslinie 100. Sie bedeutet den Gesamtanstieg, den der Stauungsdruck durch den Zustrom zur wirkl. Blutmenge der 1. und 2. P.W. gegenüber seinem anfänglichen Wert erfährt.

In *Fig. 9a* ist die *Analyse der 2. P.K.* nach den in ihr enthaltenen Längsschnittflächen durchgeführt. Zum Vergleich ist jeder Schnittfläche der 2. P.K. die entsprechende der 1. beigefügt.

In Fig. $9a_1$ bedeutet die rot schraffierte Fläche die abs. Blutmenge. Da sie für jede Pulswelle unverändert bleibt, so sind auch die Längsschnitte durch die ihr nach ihrem Volumen gleichkommenden, räumlich gedachten Gebilde einander kongruent.

In Fig. $9a_2$ bedeutet die rot schraffierte Fläche diejenige Blutmenge, welche mit der 2. P.W. abfließt, wenn die wirkl. Blutmenge der 1. P.W. während der Verschlußzeit aus dem gestauten Gebiet wieder abgelassen wird. Da sie der wirklichen der 1. P.W. gleich ist, so ist auch der Längsschnitt durch das ihr nach seinem Volumen gleichkommende, räumlich gedachte Gebilde dem der wirklichen der 1. P.W. kongruent.

In Fig. $9a_3$ bedeutet die rot schraffierte Fläche diejenige Blutmenge, welche mit der 2. P.W. abschließt, wenn durch Ablassen der wirklichen Blutmenge der 1. P.W. aus dem gestauten Gebiet während der Verschlußzeit der vorher bestandene Stauungsdruck wieder hergestellt und während der Ö.Z. der 2. P.W. künstlich auf die Höhe gebracht wird, die er nach Abstrom der wirkl. Blutmenge der 2. P.W. erreicht. Da sie geringer ist als die wirkliche der 1. P.W., so ist der Längsschnitt durch das ihr nach seinem Volumen gleichkommende, räumlich gedachte Gebilde inhaltlich kleiner als der der wirkl. der 1. P.W. und der den Mengenverlust ausdrückende Winkel, den seine untere Begrenzungslinie mit der Linie des abs. Senkungsdruckes bildet, größer als der der 1. P.W.

In Fig. $9a_4$ bedeutet die rot schraffierte Fläche die rel. Blutmenge der 2. P.W. Da sie geringer ist als die absolute, ihr Abstrom aber unter analogen Bedingungen erfolgt, so ist der Längsschnitt durch das ihr nach seinem Volumen gleichkommende, räumlich gedachte Gebilde dem der absoluten zwar ähnlich, aber kleiner als dieses, indem seine untere Begrenzungslinie parallel zur abs. Senkungslinie, in einem gewissen Abstand oberhalb derselben verläuft.

In Fig. $9a_5$ bedeutet die rot schraffierte Fläche die wirkl. Blutmenge der 2. P. W. Da die durch die nach Zustrom der

wirkl. Blutmenge der 1. P.W. bereits eingetretene und während der Ö.Z. der 2. P.W. weiterhin, wenn auch nicht in demselben Maße, anhaltende Erhöhung des Stauungsdrucks von vornherein geringer ist als die der 1., so ist der Längsschnitt durch das ihr nach seinem Volumen gleichkommende, räumlich gedachte Gebilde inhaltlich kleiner als der der wirklichen der 1. P.W. und der Winkel, den die Mengenlinie der 2. P.K. mit der Linie des rel. Senkungsdrucks bildet, kleiner als der der ersten.

In Fig. 9a_6 bedeutet die rot schraffierte Fläche diejenige Blutmenge die mit der 2. P.W. abfließt, wenn der nach Zustrom der wirklichen sich ergebende Stauungsdruck bereits zu Beginn desselben besteht und während seiner Dauer auf gleicher Höhe gehalten wird. Da sie geringer ist als die unter analogen Bedingungen abströmende Blutmenge der 1. P.W., so ist der Längsschnitt durch das ihr nach seinem Volumen gleichkommende, räumlich gedachte Gebilde dem der 1. zwar ähnlich, inhaltlich aber kleiner als dieses, indem seine untere Begrenzungslinie parallel zu der des 1., in einem gewissen Abstand oberhalb derselben verläuft.

Die wirkliche Menge ist also bei der 1. P.W. absolut am größten, relativ aber am geringsten. Absolute und relative Mengen sind bei der 1. P.W. identisch, bei der 2. dagegen verschieden, und zwar bleibt erstere stets gleich, während letztere im weiteren Verlauf des Versuches immer mehr abnimmt, bis von dem Augenblick an, wo der Stauungsdruck den Senkungsdruck erreicht, mit jeder Pulswelle die geringste Blutmenge abströmt oder, die Möglichkeit weiterhin fortbestehender venöser Abklemmung angenommen, mit Aufhören des Zustroms die wirkliche mit der relativen identisch wird.

Der absolute Verlust der 2. P.W., d. i. der Verlust, den die wirkl. Blutmenge derselben gegenüber der absoluten erleidet, setzt sich aus folgenden Mengen zusammen:

1. dem Verlust der 1. P.W. Er ist auf Fig. 9 dargestellt durch die Fläche S_{2a} S_{2p} S_{2b} der 2. P.K.

2. dem Verlust, den die rel. Blutmenge der 2. P.W. gegenüber der wirkl. der 1. erleidet. Er ist dargestellt durch die Fläche S_{2a} S_{2r} S_{2p}.

3. dem rel. Verlust der 2. P.W., d. i. dem Verlust, den die wirkl. Blutmenge derselben gegenüber der relativen erleidet. Er ist dargestellt durch die Fläche $S_{2r}\ S_{2t}\ S_{2p}$.

Der absolute Verlust der 2. P.W. ist demnach dargestellt durch die annähernd viereckige Fläche $S_{2a}\ S_{2r}\ S_{2t}\ S_{2b}$ der 2. P.K. Sie bedeutet den Längsschnitt durch ein räumlich gedachtes Gebilde, das nach seinem Volumen dem absoluten Verluste der 2. P.W. gleichkommt. Es hat annähernd die Form eines schräg abgestumpften Kegels, dem das der wirkl. Blutmenge der 2. P.W. als Kuppe aufsitzt, wobei es dieses zu dem der absoluten ergänzt.

Der Mengenverlust ist daher bei der 1. P. W. absolut am geringsten, relativ aber am größten. Absoluter und relativer Mengenverlust sind bei der 1. P.W. identisch, bei der 2. dagegen verschieden und zwar wird ersterer immer größer, letzterer im weiteren Verlauf des Versuches immer geringer, bis von dem Augenblick an, wo der Stauungsdruck den Senkungsdruck erreicht, die zuströmende Blutmenge keinen Verlust mehr erleidet oder, die Möglichkeit fortbestehender venöser Abklemmung angenommen, mit Aufhören des Zustromes der absolute = der absoluten Blutmenge, der relative = 0 wird.

Die in Punkt S_{2a} errichtete absolute Drucklinie bedeutet die Zurückführung des zum Abstrom der abs. Blutmenge während der Ö.Z. der 1. P.W. auf Punkt P_{1a} abgesenkten Manometerdrucks auf seinen anfänglichen Betrag von 100 mm Hg.

Die in Punkt S_{2r} errichtete relative Drucklinie bedeutet die zum Abstrom der wirkl. Blutmenge der 2. P.W. notwendige, unveränderte Belassung des abs. Senkungsdrucks auf seinem anfänglichen Betrag von 100 mm Hg. Ihr Abstand von der zugehörigen abs. Drucklinie vergrößert sich im weiteren Verlauf des Versuches immer mehr, bis, die Möglichkeit fortbestehender venöser Abklemmung angenommen, mit Aufhören des Zustroms im Gipfelpunkt der Pulskurve der größte Abstand erreicht ist.

Punkt T_2 der Drucklinie bezeichnet den Schnittpunkt derselben mit der von Punkt S_{2t} aus parallel zur abs. Senkungslinie geführten Geraden und bedeutet jenen Druckwert, auf den man den rel. Senkungsdruck während des Ablaufs der 2. P.W. ansteigen lassen muß um mit dieser eine der wirkl. gleichkom-

*

mende Blutmenge nach abwärts zu befördern. Sein Abstand von Punkt T_1 ist geringer als dessen Abstand von Punkt 100, sein Abstand von Punkt 100 jedoch größer als der des Punktes T_1, er ist also um einen gewissen Betrag oberhalb desselben gelegen. Der Abstand des Punktes T_1 von Punkt 100 ist demnach absolut der geringste, relativ aber der größte. Im weiteren Verlauf des Versuches entfernen sich die T-Punkte von Punkt 100, nähern sich aber unter Verkürzung ihres gegenseitigen Abstandes einander immer mehr, bis, die Möglichkeit fortbestehender venöser Abklemmung angenommen, mit Aufhören des Zustromes im Gipfelpunkt der P.K. der größte absolute und der geringste relative Abstand erreicht ist und Punkt T_n mit dem Ausgangspunkt der zugehörigen rel. Drucklinie zusammenfällt.

Punkt P_{2r} bezeichnet jenen angenommnen Manometerdruck, auf den man nach Abstrom der wirkl. Blutmenge der 1. P.W. das Manometer von Druck 100 aus während der Öffnungszeit der Arterie absenken muß um mit der 2. P.W die rel. Blutmenge derselben nach abwärts zu befördern. Sein Abstand von Punkt S_{2r} ist kleiner als der des Punktes P_{1a} von Punkt 100, er ist also um einen gewissen Betrag oberhalb desselben gelegen.

Punkt P_{2a} bezeichnet jenen angenommenen Manometerdruck, auf dem man nach Abstrom der wirkl. Blutmenge der 1. P.W. das Manometer von Druck 100 aus während der Öffnungszeit der Arterie absenken muß um mit der 2. P.W. die abs. Blutmenge nach abwärts zu befördern. Sein Abstand von Punkt S_{2r} ist größer als der des Punktes P_{1a} von Punkt 100, er ist also um einen gewissen Betrag unterhalb desselben gelegen. Der Abstand des Punktes P_{1a} von Punkt 100 ist daher absolut der geringste, relativ aber der größte. Im weiteren Verlaufe des Versuches entfernen sich die abs. und rel. P-Punkte voneinander unter Vergrößerung ihres gegenseitigen Abstandes immer mehr, bis, die Möglichkeit fortbestehender venöser Abklemmung angenommen, mit Aufhören des Zustromes der größte gegenseitige Abstand erreicht ist und Punkt P_{nr} im Gipfelpunkt der P.K. mit dem Ausgangspunkt der rel. Drucklinie und damit auch mit Punkt T_n zusammenfällt.

Aus diesen Erörterungen geht hervor, daß es nicht möglich

ist aus den vorhandenen Angaben mit Sicherheit auf die dem gestauten Gefäßgebiet zugeführte Blutmenge zu schließen, da das an der Einströmungsstelle herrschende Druckgefälle stets unbekannt bleibt und die gleiche Blutmenge unter verschiedenen Druckwerten abströmen kann; umgekehrt kann bei gleichmäßig gestalteten äußeren Bedingungen eine verschiedene Blutmenge abfließen. Wohl aber ist unter sonst gleichen Bedingungen bei zwei verschiedenen Versuchspersonen die nach einer bestimmten Anzahl von Pulsschlägen abgeflossene Blutmenge gleich. Freilich hat diese mit dem sog. *Minutenvolumen der Brachialis*, d. i. derjenigen Blutmenge, die bei unbehindertem Kreislauf die Arterie i. d. Minute durchströmt, unmittelbar nichts zu tun. Da es aber darauf ankommt gerade hiefür einen Maßstab zu gewinnen, so gelangt man auf diesem Wege nicht zum Ziel. —

Der Zustrom von Blut in das gestaute Gebiet wird ermöglicht durch die Dehnbarkeit der Gefäße, die bei ihrer geringen Elastizität dem Eindringen neuer Blutmengen einen verhältnismäßig geringen Widerstand entgegensetzen; der Anstieg des Stauungsdrucks erfolgt daher langsam. Der Gefäßinhalt wird dadurch aber nicht nur unter erhöhten Druck gebracht, sondern auch gleichzeitig von der Einströmungsstelle abgedrängt. Der *Wiederbeginn der Kapillarströmung* nach Absenken des Manometerdrucks unter das Blutdruckmaximum ist demnach in diesem Zusammenhang als eine Verdrängungserscheinung aufzufassen. Unter rein physikalischen Bedingungen ist es gleichbedeutend, ob der Druckanstieg durch Zufuhr arteriellen Blutes oder durch mechanische Kompression der Arterien erzeugt wird, immer geht derselbe mit einem Übertritt von Blut aus den Arterien durch die Kapillaren in die Venen einher, da dieses nach Orten niedrigeren Drucks, d. i. in die Venen ausweicht. Es ist daher bereits nach Zustrom einer sehr geringen Blutmenge eine venenwärts gerichtete Strömung in den Kapillaren zu erwarten.

Arterien und Venen sind ferner ihrem anatom. Aufbau nach voneinander verschieden. Schon makroskopisch zeichnen sich die Arterien durch ihre derbe und dicke Wandung aus, wo hingegen die der Venen wesentlich dünner und zarter erscheint. Am deutlichsten erkennt man diesen Unterschied, wenn man

die Aorta hinsichtlich ihrer Wandstärke mit den großen Venenstämmen vergleicht. Mikroskopisch sind in der Aorta die elastischen Fasern noch stärker vertreten, nehmen jedoch in den Arterien zugunsten der glatten Muskulatur immer mehr ab um diese in den Venen wieder mehr oder weniger zu ersetzen. Selbst bei Annahme einer vollkommen einheitlichen mikroskopischen Struktur des Gefäßsystems und gleichen Eigenschaften desselben besteht also zwischen Arterien und Venen ein Unterschied hinsichtlich ihrer Wandstärke und damit auch ihrer Dehnbarkeit und es befinden sich demnach die Gefäße innerhalb des Kreislaufsystems in einer im allgemeinen als starr-dehnbar zu bezeichnenden Anordnung (vgl. Fig. 2 a b).

Das *Herz* entleert seinen Inhalt in die Arterien als den weniger dehnbaren Teil des Gefäßsystems. Besäße letzteres in allen seinen Teilen genau die Dehnbarkeit der großen Venenstämme, so würde das Herz die gleiche Menge unter geringstem Druckanstieg bei größter Stromverzögerung, bei gleichem Druckanstieg die größte Menge Blut in die Aorta werfen. Besäße das Gefäßsystem in allen seinen Teilen genau die Dehnbarkeit der Aorta, so würde das Herz die gleiche Menge unter größtem Druckanstieg bei Strombeschleunigung, bei gleichem Druckanstieg die geringste Menge Blut in die Aorta werfen. Bestünde am Kreislaufsystem dehnbar-starre Anordnung, so würde das Herz unter gleichem Druckanstieg bei Stromverzögerung die gleiche Menge Blut in die Aorta werfen. Müßte es unter der in Wirklichkeit vorhandenen starr-dehnb. Anordnung die gleiche Menge in die Aorta werfen, die es in diese befördern würde, wenn das ganze Gefäßsystem die Dehnbarkeit der großen Venenstämme besäße, so müßte es eine größere Arbeit leisten, d. i. das Herz wirft die gleiche Menge Blut unter relativ erhöhtem Druckanstieg aus. Was aber das Herz mehr leistet, das kommt der Strömung zugute und zwar im aktiven wie im passiven Sinne, im aktiven, weil die Strömungsgeschwindigkeit unter sonst gleichen Bedingungen abhängt von der Herztätigkeit, im passiven, weil die Geschwindigkeit der Blutverschiebung mit dem Unterschied in der Dehnbarkeit zwischen arteriellem und venösem Gefäßgebiet zunimmt. Müßte das Herz unter der in

Wirklichkeit vorhandenen starr-dehnb. Anordnung die gleiche Menge in die Aorta werfen, die es in diese befördern würde, wenn das ganze Gefäßsystem die Dehnbarkeit der Aorta besäße, so bräuchte es nur eine geringere Arbeit zu leisten, d. i. das Herz wirft die gleiche Blutmenge unter relativ vermindertem Druckanstieg aus. Das bedeutet aber für das Herz eine Kraftersparnis. Absolut wirft jedoch das Herz unter geringstem Druckanstieg bei bestem Strömungseffekt die geringste Menge Blut aus. Als Beweis hiefür läßt sich anführen, daß es unter sonst gleichen Bedingungen sowohl bei Vermehrung der auszuwerfenden Blutmenge als auch bei Erhöhung des auf die gleiche Menge auszuübenden Druckes hypertrophiert. Das menschliche Herz gleicht also einem Mann, der nach einer bestimmten Zeit 100 ℳ braucht, aber nur 90 ℳ verdient; er muß sich also, um die nötige Summe aufzubringen, in der ihm zur Verfügung stehenden Zeit noch besonders anstrengen. Wiederum gleicht es einem Mann, der in der gleichen Zeit 100 ℳ verdient, aber nur 90 ℳ braucht. Er kann sich also nach Ablauf dieser Zeit 10 ℳ als Ersparnis zurücklegen. Absolut aber gleicht das Herz einem Mann, der in derselben Zeit 90 ℳ verdient, aber auch nur 90 ℳ braucht; er erreicht also das Gleiche wie die beiden anderen mit geringstem Verdienst, aber auch mit geringstem Kraftaufwand.

Auch in dem in Frage kommenden *Gefäßgebiet des Armes* besteht zwischen Arterien und Venen bezüglich ihrer Dehnbarkeit ein Unterschied. Es tritt daher von vornherein ein relativ größerer Teil einer der zugeströmten gleichen Blutmenge in die Venen über und man könnte die Beschleunigung, die der Wiederbeginn der Kapillarströmung durch die Anordnung erfährt, auf eine passive Saugwirkung der Venen zurückführen und ihre Bezeichnung als Saugadern erscheint damit unter einem neuen Gesichtspunkt.

Dadurch, daß das eingespritzte Blut mit einer gewissen Wucht auf die unterhalb der Einströmungsöffnung befindliche Blutsäule aufprallt, erleidet der Gefäßinhalt im gestauten Gebiet eine Erschütterung. Ihre Frequenz = der Pulsfrequenz, ihre Ablaufszeit synchron mit der Öffnungszeit der Brachialis, ihre Intensität abhängig von dem an der Einströmungsstelle herr-

schenden Druckgefälle. Der Stauungsdruck erfährt durch den so erzeugten künstlichen pulsus parvus in den Arterien einen treppenförmigen Anstieg. Auf der venösen Seite ist jedoch der wechselweise Zustrom durch das Dazwischentreten des Kapillarsystems in kontinuierliche Strömung, der unter pulsatorischen Schwankungen erfolgende Druckanstieg in einen gleichmäßigen verwandelt.

Bei Vornahme des Versuches wird das Gefäßgebiet des Armes unter Bedingungen gesetzt, die von den normalen weit abweichen. Jede äußere Veränderung bedeutet aber für lebende Gebilde einen Reiz, auf den sie in arteigener und individuell verschiedener Weise reagieren. Auch die Gefäße sind lebendige Gebilde, die durch ihre Reaktionsfähigkeit zu den Vorgängen in ihrer Umgebung in Beziehung treten können. Das Aufblasen der Manschette auf übermaximalen Druck, die Kompression der Organe, die Unterbrechung der Blutzirkulation, die Abnahme des artiellen, die Zunahme des venösen Drucks, der Ausfall der Pulsation, der Nahrungs- und Wärmezufuhr bei gleichbleidender Wärmeabgabe, die Anhäufung der Stoffwechselprodukte, der rhythmische Zustrom von Blut bei behindertem Abfluß desselben, der Anstieg des Stauungsdrucks stellen daher jedes für sich eine bestimmte Reizgröße dar. Selbst, wenn es gelänge sie bei jedem Versuch annähernd gleichmäßig zu gestalten, so blieben doch die subjektiven Momente der Reizschwelle sowie Art und Intensität des Reizumsatzes außerhalb jeder Berechnung. Biologisch wird der Übertritt von Blut aus den Arterien in die Venen beim sog. Wiederbeginn der Kapillarströmung dadurch ermöglicht, daß die Venenwand auf den gleichen Reiz der Wanddehnung entweder wie die Arterien oder schwächer als diese oder mit einer aktiven Dilatation reagiert. Da die Arterien allein als Zuflußrohr in Frage kommen, der dadurch gesetzte Reiz also einseitig nur auf sie einwirkt, kann die *aktive Beteiligung* derselben am Wiederbeginn der Kapillarströmung nur in einer mit dem Druckpuls gegen die Peripherie fortlaufenden Kontraktionswelle bestehen, die nicht auf die Venen übergreift. Wenn aber trotzdem Blut in die Venen übertritt und die Strömung in dem gestauten Gefäßgebiet an den Kapillaren

nicht zum Stillstand kommt, so muß die Voraussetzung hiefür in den die biolog. Bedingungen überdauernden, physikalischen Druckkräften gegeben sein, die nach Aufhören der lebendigen Bewegungsantriebe den Abstrom des Blutes aus den Arterien in die Venen bewerkstelligen. Der Wiederbeginn der Kapillarströmung erscheint so als das Ergebnis einer Kombination physikalisch-biologisch wirksamer Kräfte, ohne daß es möglich wäre ihre Größe im einzelnen auch nur annähernd abzuschätzen. Inwieweit die Darlegung der Verhältnisse W e i ß in seiner Veröffentlichung gelungen ist, möge der nächste Abschnitt bekunden.

Überblickt man die *Arbeit im ganzen*, so möchte die mehr nebensächliche geschichtliche Zusammenfassung der bisherigen Funktionsprüfungen des Kreislaufs zu umfangreich, der dem Versuch selbst gewidmete Teil zu knapp erscheinen. Die vielen Einklammerungen und Fremdwörter, die oft nur Übersetzungen guter deutscher Ausdrücke sind und mit den gebräuchlichen mediz. Kunstausdrücken nichts gemein haben, machen äußerlich betrachtet die Bearbeitung der Abhandlung wenig erfreulich; manche Wendungen muten in ihrer Eigenart nachgerade seltsam an, andere wieder sind oft inhaltlich irreführend und unklar oder ganz unrichtig. Bezüglich ihrer *sprachlichen Fassung* konnte die Arbeit daher volle Anerkennung nicht finden.

Einleitend bemerkt W e i ß: Die moderne Forschung stelle den funktionellen Inhalt über die anatomische Form, seine Methode komme dieser Auffassung entgegen, indem sie lediglich die Funktion des Kreislaufs berücksichtige. — Da der Zusammenhang zwischen Anatomie und Funktion auch heute noch vielfach der Klärung bedarf, will es gewagt erscheinen, wenn eine Behauptung, deren Allgemeingültigkeit nicht voll erwiesen ist, zum *Leitsatz* für eine wissenschaftliche Abhandlung erhoben wird.

In dem autoren- und zitatenreichen geschichtlichen Überblick gibt W e i ß zunächst die in K ü l b s' Handb. d. inn. Med. angeführten Gesichtspunkte über die Einteilung der bisherigen Funktionsprüfungen wieder um im Anschluß daran in eine Besprechung neuerer Methoden überzugehen, von denen, wie er meint, keine vollauf befriedige, da sie nur immer einen Teil des

Kreislaufsystems berücksichtigten; seine Methode, die die Gesamtwirkung des Herzens und der Gefäße zur Anschauung bringe, behebe diesen Mangel. — Nach der entsprechenden Auffassung indes dürfte sich die *Daseinsberechtigung einer Methode* überhaupt nicht geschichtlich ableiten lassen, ihr Wert oder Unwert sich vielmehr aus ihren Resultaten von selbst ergeben.

Die Aufgabe des Kreislaufs, schreibt W e i ß , sei die Versorgung der Gewebe mit Blut. Ob er dieser gerecht werde, könne man am ehesten und sichersten an den Kapillaren als dem Ort ihrer Erfüllung feststellen; das sei das *Prinzip* seiner Methode. — Nach diesem Grundsatz jedoch wäre die kapillare Beobachtung allein ausschlaggebend; denn der Wiederbeginn der Kapillarströmung, auf dessen Feststellung es bei Durchführung des Versuches ankommt, hat mit der Blutversorgung der Gewebe nichts zu tun; die Anwendung des Tonometers wäre also überflüssig.

Seine Methode, fährt W e i ß fort, gewähre die Möglichkeit „der unmittelbaren Beobachtung des Druckgefälles". — Nicht zu erwähnen, daß ein *Druckgefälle* zwar rechnerisch festgestellt, aber niemals unmittelbar beobachtet werden kann, steht die Behauptung zu den wirklichen Verhältnissen in direktem Gegensatz. Unter Druckgefälle versteht man den Druckunterschied an zwei verschiedenen Stellen eines Strömungsgebietes. Bei Vornahme des Versuches wird aber das Blutdruckmaximum der Brachialis gemessen und mit dem an derselben Stelle bei Wiederbeginn der Kapillarströmung herrschenden Blutdruck verglichen. Es fehlt also der zur Bestimmung eines Druckgefälles nötige, stromauf- oder stromabwärts gelegene andere Punkt des Gefäßsystems, auf den einer der gefundenen Werte bezogen werden müßte. Den besten Maßstab für seine Beurteilung böte an sich die Messung der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes in den Kapillaren; aber auch hier entschiede die Kapillarbeobachtung allein und die Anwendung des Tonometers wäre überflüssig.

— Der Druckausgleich nach Abklemmung erfolgt — „zwischen dem höheren arteriellen und niedrigeren venösen Druck", schreibt W e i ß ferner, „weil im arteriellen System zur Blutfüllung noch Kontraktilität und Tonus der arteriellen Gefäße

hinzutreten, welche Faktoren auf der venösen Seite im wesentlichen fehlen.“ An einer anderen Stelle führt er den *Druckausgleich* auf die Kontraktion der Arterien zurück, wenn er mitteilt: „Die Strömung sistiert zwar nicht sofort, weil sich zunächst ein Ausgleich der Druckdifferenz zwischen den niedrigen venösen und dem auch nach Aufhören des arteriellen Zustroms infolge der Kontraktionskraft noch erhöhten arteriellen Druck herstellt (ähnliche Verhältnisse wie postmortal; daher sind auch an der Leiche die Arterien leer!)“. Wenn auch die Lebensvorgänge am Arm durch die Abklemmung der Brachialis vorübergehend eine Hemmung erfahren, so dürfte W e i ß in seinem Vergleich doch zu weit gehen. Immerhin läßt er noch die Möglichkeit zur Annahme zu, daß die Arterien wenigstens zum Teil gefüllt sind und daß ihr Inhalt unter einem gewissen Druck steht. Über die *Einströmungsbedingungen* nach Absenken des Manometerdrucks unter das Blutdruckmaximum finden sich wenig Angaben: „Sobald auch nur wenig arterielles Blut wieder zuströmen kann, genügt diese vis a tergo zusammen mit der Kontraktionskraft der Arterien, um den zu dieser Zeit im venösen System herrschenden Druck zu überwinden; so entsteht sofort wieder eine zum Wiederbeginn der Strömung in den Kapillaren genügende Druckdifferenz.“ Ferner wird an einer anderen Stelle die art. „Pulswelle“ erwähnt, die den venösen Druck überwindet, desgleichen einmal „schwache art. Wellen“, ferner: — beim Ablassen des Manometerdrucks — „genügen offenbar die hiebei wieder auftretenden schwachen Pulswellen, die das noch partiell komprimierte Arterienrohr passieren können, nicht, um die Strömung in den Kapillaren wieder in Gang zu bringen“, sondern es sind hierzu „kräftigere Pulswellen, die die Menschette nur bei geringerem Manschettendruck passieren können“, notwendig.

Zum Beweis dafür, daß der Beginn des Druckanstiegs in den Venen nach Absenken des Manometerdrucks unter das Blutdruckmaximum mit dem *Wiederbeginn der Kapillarströmung* zusammenfällt — was unter den gegebenen Verhältnissen nicht anders möglich ist —, hat W e i ß die Venendruckmessung nach der Methode von M o r i t z und T a b o r a an der Vena mediana cubiti des gestauten Armes vorgenommen. Dabei ergab sich

beim Gesunden keine oder eine nur geringe, bei den *Kreislaufskranken* dagegen, von denen bei dem einen die klinische Diagnose auf Mitralinsuffizienz, bei dem anderen auf Myocarditis mit Insuffizienz des Kreislaufs gestellt war, eine beträchtliche Differenz zwischen Maximal- und Senkungsdruck; Wiederbeginn der Kapillarströmung und Druckanstieg traten bei ihnen erst bei einem wesentlich tieferen Senkungsdruck ein. Die Ursache hiefür ist wohl in einer krankhaften Veränderung der Funktion der Arterien zu suchen, die auf den durch den Zustrom gesetzten Reiz bei Erkrankungen des Kreislaufs nicht wie beim Gesunden mit einer Vasokonstruktion, sondern Vasodilatation reagieren. Die dadurch hervorgerufene Verzögerung des Wiederbeginns der Kapillarströmung ist demnach als eine ins Gegenteil umgeschlagene, konträre Reizwirkung und damit als Kennzeichen schwerer funktioneller Schädigung der Arterien aufzufassen. Unter krankhaften Verhältnissen wird also zur Erzeugung eines arteriellen Überdrucks eine erheblich größere Blutmenge benötigt als beim Gesunden, deren Aufgehen in dem gestauten Gefäßgebiet einem entsprechenden Blutverluste gleichkommt, da sie ohne jeden Druck- oder Strömungseffekt der Peripherie mit jeder Pulswelle immer wieder von neuem zugeführt wird, und es erweckt den Eindruck als ob der insuffiziente Kreislauf sich gleichsam in sich selbst hinein verblute.

Bei der mit Myocarditis behafteten Versuchsperson stellte sich alsbald nach vollständiger Abklemmung und erfolgtem Druckausgleich eine venoarteriell gerichtete Rückströmung ein, die nach Erreichung eines niedrigeren Ausgleichsdruckes wieder zum Stillstand kam. Der Vorgang wurde sowohl durch Abnahme des gleichzeitig gemessenen Venendrucks als auch durch die zu beobachtende, rückläufige Kapillarströmung festgestellt. Aus letzterer Tatsache geht hervor, daß es sich nicht um ein allgemeines, gleichmäßiges Nachlassen der Wandspannung im gesamten abgeklemmten Gefäßgebiet, sondern entweder um eine Vasokonstriktion der Venen oder eine sekundäre Erschlaffung der Arterien handelt, die zu einem venösen Überdruck und damit zu venoarterieller Rückströmung führt. Erstere kommt jedoch kaum ausschließlich in Frage, dazu ist die Wirkung zu einheit-

lich und zu stark, wenn sie auch als unterstützendes Moment möglich ist, vielmehr ist die nachträgliche Rückströmung das Kennzeichen großer aktiver Schwäche der Arterien und bedeutet wie die Verzögerung des Wiederbeginns der Kapillarströmung eine schwere funktionelle Schädigung derselben. Beide Vorgänge sind Störungen in der Reaktion der Gefäße auf die bei Ausführung der Methode gesetzten örtlichen Reize, wobei die Rückströmung den stärkeren Grad der Schädigung darstellen dürfte. So bilden aktive Dilatation und aktive Schwäche der Gefäße in diesem Zusammenhang die beiden hervorstechendsten Merkmale funktioneller peripherer Insuffizienz.

Die an den Kreislaufskranken gestellten Diagnosen der Mitralinsuffizienz und Myocarditis sind jedoch nicht nur klinische, sondern im Grunde patholog.-anat. Begriffe insofern, als die Symptome am Herzen durch anatomische Veränderungen hervorgerufen sind. Letztere kommen aber auch als Ursache für die funktionellen Störungen der Gefäße in Betracht, da an diesen entsprechende örtliche Strukturveränderungen fehlen. Damit sind beide, die klinischen Symptome am Herzen und die funktionellen Störungen der Gefäße, auf ihren gemeinsamen, am Zentralorgan befindlichen anatomischen Ursprung bezogen, von dem die Insuffizienz des Gesamtkreislaufes letzten Endes ausgeht. Das Organ aber, das den durch die anatomischen Veränderungen und ihre Folgeerscheinungen erzeugten Reiz umsetzt und an der Peripherie als funktionelle Störung der Gefäße hervortreten läßt, ist das Nervensystem, das beiden gemeinsam und zugleich übergeordnet ist und das, Herz und Gefäße mit seinen sympathischen und parasympathischen Ganglienzellen und Nervenfasern durchdringend, jede Veränderung des einen Teiles dem anderen auf reflektorischem Wege übermittelt. Anatomie und Funktion bestehen somit am menschlichen Körper völlig gleichberechtigt nebeneinander und das Zentralnervensystem ist dasjenige Organ, das beide zu untrennbarer Einheit verbindet.

Die *Differenz zwischen Maximal- und Senkungsdruck* bildet unter sonst gleichen Bedingungen einen Maßstab für die Beurteilung der Funktionsstörung der Gefäße dann, wenn die Dauer der aktiven Erweiterung derselben den Umfang der Schädigung

kennzeichnet und das Absenken des Manometers für alle Fälle gleichmäßig geschieht. W e i ß hätte demnach angeben müssen, mit welcher Geschwindigkeit das Absenken zu erfolgen hat. Die Angabe, man solle das Manometer „ganz langsam, Millimeter für Millimeter" absenken, ist jedoch zu allgemein, da ihre Auslegung dem Belieben des Einzelnen anheim gestellt wird. In Wirklichkeit gelingt es nämlich bei jedem Herzkranken nach kürzerer oder längerer Zeit durch verlangsamtes Absenken des Manometers den Wiederbeginn der Kapillarströmung dicht unterhalb des Blutdruckmaximums zu erzeugen. Die Methode kann daher Anspruch auf Exaktheit nicht erheben und kommt dadurch für die Wissenschaft in dieser Form nicht in Frage.

Die angegebene *Literatur* bezieht sich meist auf den geschichtlichen Überblick, während der Methode selbst nur wenige Stellen gewidmet sind. Bei manchen von ihnen ist der Zusammenhang mit dem Thema nur mittelbar; viele sind aus den Kriegsverhältnissen heraus entstanden und für sie bestimmt, haben daher nur vorübergehende Bedeutung. Erwünscht wäre eine Berücksichtigung des extrakardialen Kreislaufs gewesen, da die Methode extrakardial ansetzt und deswegen als eine solche zu bezeichnen ist. Die Auswahl, die W e i ß in der mediz. Literatur für seine Zwecke getroffen hat, dürfte daher der Hauptsache nach wenig geglückt sein.

Die zur *Erprobung der Methode* nötigen *Versuche* wurden fast ausschließlich an ambulatorisch Kranken angestellt, wobei Arch. II des klin. Instituts als Untersuchungsraum diente und erstreckten sich auf mehr als 200 Personen, von denen 150 namentlich verzeichnet und die Befunde zum großen Teil mehrfach nachgeprüft wurden. Die Geräte, ein Tonometer, ein Hartnackmikroskop mit etwa 40facher Vergrößerung sowie ein Stativ mit Sammellinse, standen zur Verfügung. Als Lichtquelle wurde lediglich Tageslicht benutzt, da die Untersuchungen vormittags vor und während der Sprechzeit vorgenommen wurden. Die Entfernung vom Fenster (Taf. IV, Fig. 10; F), durch das etwa ein Drittel freier Himmel sichtbar war, betrug ungefähr 2,5 m; das Licht fiel von rechts auf den Beobachter (B), vor

dem auf einem Tisch das Mikroskop (Mi) mit Stativ (St) für die Sammellinse, links vorwärts davon das Tonometer (T) aufgestellt waren; an der linken Tischseite hatte die Versuchsperson (V) Platz genommen.

Zu *Beginn der Untersuchung* wurden die Finger der Versuchsperson auf ihre Beschaffenheit inspiziert und festgestellt, welcher von ihnen das beste Ergebnis versprach. Dabei erwies sich der 4. oder 5. Finger der linken Hand am geeignetsten. Für die mikroskopische Beobachtung liegen die Verhältnisse am günstigsten da, wo ein schmaler Epidermissaum (Eponychium) dem Nagel aufliegt und der proximal sich anschließende Nagelwall möglichst flach ansteigt. Bei Leuten, die von Berufs wegen grobe Handarbeiten verrichten müssen, wie Schlosser, Schmiede, Mechaniker, Erdarbeiter, Landwirte, sind die fraglichen Hautpartien oft so entstellt, daß die Untersuchung nicht durchgeführt werden kann. Schmutzpartikel lassen sich durch ein warmes Handbad leicht beseitigen. Im allgemeinen bilden blonde, jugendliche Personen, ferner Leute aller Berufsklassen, die keine schwere körperliche Arbeit verrichten oder wenigstens längere Zeit nicht mehr verrichtet haben, also insbesondere auch Frauen, die dankbarsten Objekte.

Sodann wurde an dem völlig entblößten Arm die Manschette des Tonometers angelegt und mittels der auskultatorischen Methode das Pulsdruckmaximum und -minimum bestimmt. Man achte darauf, daß nicht durch schnürende Kleidungsstücke eine Stauung erzeugt wird; aus dem gleichen Grunde auf richtigen, nicht zu engen, aber auch nicht zu losen Sitz der Manschette. Damit ihr unterer Rand nicht in die Ellenbeuge einschneidet, werde der Unterarm in leichter Beugestellung gehalten. Vor Einstellung des Fingers unter das Mikroskop wurde sein Nagelwallrand noch besonders besichtigt. Unter günstigen Verhältnissen erscheint die Grenzlinie zwischen Eponchyium und Nagelwall als schmaler, heller Streifen, in dem oft schon dem unbewaffneten Auge die einzelnen Kapillaren wie feine Riefen erkennbar sind; die Zone erhält dadurch ein kammartig gezähntes Aussehen. Die beste Beobachtungsstelle ist im allgemeinen in der Nähe der Sagittalebene des Fingers gelegen, da

sich beiderseits lateral der Epidermissaum in der Oberhaut verliert und die Kapillaren damit kürzer und unter der derberen Epidermis weniger gut sichtbar werden. Manche von den letzteren zeichnen sich oft durch ihre Dicke besonders aus und ragen aus der Reihe wie kleine rote Pünkchen deutlich hervor. Zur Auflage auf den Objekttisch wurde für die Finger ein Gipsabguß angefertigt, der mittels Klammern abnehmbar befestigt war; bei kühler Witterung wurde er vor dem Gebrauch erwärmt. Auch berücksichtige man die Zimmertemperatur. Die Hand der Versuchsperson lasse man leicht gebeugt auf einer weichen Unterlage aufruhen, jeder Muskelzwang werde vermieden. Um die Haut durchscheinend zu machen und störende Lichtreflexe hintanzuhalten, wurde die beabsichtigte Stelle mit einem Tropfen Zedernöl versetzt und der Brennpunkt der am Stativ befestigten Sammellinse auf sie konzentriert. Verwendung von Tageslicht hat den Nachteil, daß sich alle Veränderungen in Farbenton und Beleuchtungsstärke der Lichtquelle der Beobachtungsstelle mitteilen, künstliche Beleuchtung liefert dagegen stets gleichmäßiges Licht. Damit die Untersuchung nicht durch unwillkürliche fahrende und zitternde Bewegungen gestört wird, halte man den Finger der Versuchsperson auf der Unterlage leicht und ruhig aufgedrückt. Auch dehne man das Experiment nicht zu lange aus, da anhaltende Bemühung ermüdet und die eigene Sicherheit leidet; ferner gibt es einen sehr feinschlägigen, nur mikroskopisch wahrnehmbaren Tremor, der gerade hier oft große Schwierigkeiten bereitet. Der Beobachter verhalte sich so, daß er die ganze Anordnung gut überblicken kann, vor allem werde die Skala des Manometers in das auffallende Licht gestellt um ein rasches und sicheres Ablesen des Quecksilberstandes zu ermöglichen; seine freie Hand stellt das Mikroskop ein und die *Kapillarbeobachtung* kann beginnen.

Nicht immer gelingt es sogleich, die für geeignet befundene Stelle des Nagelwallrandes in das Blickfeld zu bringen. Zur *Orientierung* ist es daher notwendig die Merkmale zu kennen, welche die in Betracht kommenden Gebiete im mikroskopischen Bilde aufweisen (Taf. IV, Fig. 11). Eine von Zedernöl nicht benetzte Fläche fällt auf durch zahlreiche, glänzende Licht-

reflexe, die auf dem Nagel (N) oft mehr einen geraden, parallel zueinander gerichteten, auf der Haut einen unregelmäßigen Verlauf zeigen. Eine benetzte Fläche trägt einen einheitlichen, hellrosaroten Farbenton. Den besten Anhalt für die Orientierung liefert die geradlinig quer über den Nagel hinziehende, distale Abgrenzungslinie des Epidermisbandes (Ep); die proximale ist zwar auch in der Regel gut sichtbar, aber nicht geradlinig, sondern, da sich die Papillen in sie hinein erstrecken, gezackt (P). Jedem zwischen je zwei Zacken gelegenen, proximalwärts offenen Bogen entspricht eine Papille und jede Papille birgt eine Kapillare in sich. Dieser Teil ist das Beobachtungsgebiet (K). In ihm sind die Kapillaren nach der Fingerspitze zu gleichsam horizontal umgelegt, erscheinen in die Länge gezogen und werden so in ihrem ganzen Verlaufe sichtbar; auch treten sie aus dem hellen, weißlichen Farbenton dieser Zone deutlich hervor. In dem weiter proximal gelegenen, dem Nagelwall zugehörigen Gebiet (Nw) richten sie sich immer mehr auf, bis sie schließlich ohne deutlichen Übergang im allgemeinen senkrecht zur Hautoberfläche verlaufen. Oft heben sie sich hier infolge ihrer stärkeren Tinktion von dem verwaschenen, frisch rosaroten Farbenton ihrer Umgebung wie zierlich gekräuselte Wollhaarflocken ab. Die Papillen bewirken häufig das Aussehen eines Reliefs.

Hat man die Kapillarzone eingestellt, so suche man die Kapillare — für vergleichende Beobachtung mehrere — durch vorsichtiges Verschieben des Fingers in das Blickfeld zu bringen. Das gefundene Objekt halte man fest und verhindere jede weitere Bewegung. Sodann lasse man die Mikroskopschraube auf die Kapillare einspielen und man wird bald die Strömung in ihr erkennen.

Die einfachste und zugleich häufigste *anatomische Form* der Kapillaren ist die U-förmige Schleife (Taf. IV, Fig. 12). Man unterscheidet an ihr zwei parallel zueinander gerichtete Schenkel, einen zuführenden arteriellen und einen abführenden venösen, sowie ein die beiden verbindendes halbkreisförmiges Übergangsstück; sie weist damit jene Gliederung auf, die auch für die anatomische Grundlage des Experimentes in Betracht

kommt. Die Stromrichtung erfährt in ihr eine Umlenkung von 180°, sie ist also in beiden Schenkeln genau entgegengesetzt und es liegt die Vermutung nahe, daß an diesem auf so engem Raum sich abspielenden Vorgang örtliche Hilfskräfte beteiligt sind. Die Kapillaren stehen in fast regelmäßigen Zwischenräumen von etwa $^1/_{10}$ mm parallel nebeneinander. Von den beiden Schenkeln kann bald der arterielle, bald der venöse bei Einstellung des Mikroskops deutlicher hervortreten, je nach Größe des Winkels, den eine durch die beiden gelegte Ebene mit der Hautoberfläche bildet. Verläuft erstere parallel zu letzterer, so ist die Kapillare in allen ihren Teilen sichtbar. Da die Beschaffenheit des Nagelwalles je nach dem Individuum verschieden ist, so sind auch die Schleifen individuell verschieden lang. Beide Schenkel können gleiches Kaliber aufweisen, doch ist in der Regel der arterielle dünner als der venöse; ein umgekehrtes Verhältnis, bei dem der arterielle dicker ist als der venöse, wurde nie beobachtet. Bei Jugendlichen ist ihr Verlauf mehr glatt, bei älteren Leuten oft feingeschlängelt und korkzieherartig gewunden. Der venöse Schenkel weist häufiger als der arterielle Krümmungen und Verbiegungen auf; auch das Übergangsstück kann daran beteiligt sein. Der Ursprungsort des art. Schenkels aus der zugehörigen Arteriole konnte niemals festgestellt werden, dagegen läßt sich der venöse nicht selten bis zu seiner Einmündungsstelle in eine Vene des oberflächlicher gelegenen Rete venosum subpapillare verfolgen.

Innerhalb der Grundform gibt es zahlreiche *Variationen*, für die sich im Laufe der Zeit bestimmte, das Flächenbild kennzeichnende, immer wiederkehrende Typen herausbildeten. Wenn sich die beiden Schenkel der Schleife perspektivisch decken, so stellt der Kapillarverlauf eine Linie dar, die bei leicht gekrümmtem Übergangsstück einem im Anstrich verstärkten Ausrufungszeichen ähneln kann (Taf. IV, Fig. 12a; 1); oft bilden sie miteinander eine Schlinge (2), die auch doppelt geführt werden kann, so daß eine Acht entsteht (3); oder es windet sich die gekrümmte Vene um die geradlinig verlaufende Arterie wie die Schlange um den Äskulapstab (4); in einzelnen Fällen sind baumartige Verzweigungen und büschelförmige Aufsplitterungen der

Kapillaren zu sehen, in deren Gewirr sich infolge zahlreicher Anastomosen einzelne Teile nicht mehr unterscheiden lassen (5); einmal erinnerte der Befund sogar an das mikroskopische Bild eines Nierenglomerulus; schließlich kommen auch nachgerade groteske Formen vor, die wie ornamentartige Zeichnungen anmuten (6). Die Übergangsstücke mehrerer Kapillaren zeigten in einem Fall spindelförmige Auftreibungen (7), die wie miliare Aneurysmen aussahen und schon dem unbewaffneten Auge als kleine Pünktchen erkennbar waren.

Die Kapillaren heben sich durch ihre Füllung mit Blut, im besonderen mit roten Blutkörperchen, von ihrer Umgebung ab. Blutleere Kapillaren sind unsichtbar, da die Kapillarwand keinen eigenen Farbenton besitzt, vielmehr vollständig in dem ihrer Umgebung aufgeht; ihr Verhalten kann daher nicht unmittelbar beobachtet, sondern nur aus Deformationen des Kapillarinhaltes auf dasselbe geschlossen werden. Ist eine Kapillare vollständig mit Blut gefüllt, so ist sie auch auf ihrem ganzen Verlaufe sichtbar und umgekehrt. Befindet sich der Kapillarinhalt in Bewegung, so ist der Farbenton des Blutes um so heller, je rascher dieselbe, je größer also die Strömungsgeschwindigkeit ist. Bei ununterbrochener, kontinuierlicher Strömung bleibt sie während der Dauer derselben für jeden Querschnitt der Kapillare in einer ihrem Kaliber entsprechenden Weise gleichmäßig bestehen. Ist dabei die Kapillare vollständig mit Blut gefüllt und zeigt dieses ein helles Rot, so sind die Verhältnisse für die Strömung am günstigsten. Frischroter Farbenton der Kapillare sowie Sichtbarkeit derselben in ihrem ganzen Verlauf bei vollständig lückenlos erhaltener Kontinuität der in ihr befindlichen Blutsäule bilden daher die Merkmale der *„optimalen Kapillarströmung“*.

Der Durchtritt der Blutkörperchen durch die Kapillaren des Nagelwallrandes erfolgt in der Masse, da hier das Kaliber einer Kapillare den größten Durchmesser eines Blutkörperchens weit übertrifft; die beobachtete Bewegung ist daher Massenbewegung, in welcher die Erythrocyten einzeln nicht mehr unterscheidbar sind. Der Vorgang ist also mit der Strömung eines Geröll führenden Flusses vergleichbar, in welchem die

festen Partikel unter ständigem Drehen und Wenden ihre Lage zueinander dauernd ändern. Bei rascher, ununterbrochener Strömung ist es deswegen nicht immer leicht auf den ersten Blick überhaupt eine Bewegung zu erkennen, da die Kapillare zu einem homogenen Faden verschmolzen ist. Die Verteilung der roten Blutkörperchen im Raum ist indes nicht immer so einheitlich, als daß nicht manchmal kleine Lücken zwischen ihnen entstünden, die mit großer Geschwindigkeit durch die Kapillare hindurchhuschen. Auch da, wo der arterielle Schenkel aus der Subkutis auftauchend in die Kapillarzone distalwärts übertritt und häufig daher auch eine Knickung des Gefäßes stattfindet, kann man die Strömung oft deutlicher beobachten und schließlich sehen, wie die Blutkörperchen durch die Kapillare geradezu hindurchschießen und hindurchjagen. Ist der venöse Schenkel erheblich dicker als der arterielle, so erfährt die Strömungsgeschwindigkeit innerhalb des Kapillarverlaufes unter Wahrung der Kontinuität der Blutsäule eine merkbare Verlangsamung. Der Inhalt der Venen erhält dann ein mehr sandig gekörntes Aussehen und läßt die roten Blutkörperchen deutlicher hervortreten; gleichzeitig kann zwischen dem dunkleren venösen und dem helleren arteriellen Schenkel ein Unterschied im Farbenton festgestellt werden. Bei trichterförmig gestaltetem Übergangsstück kann man die Blutkörperchen wie Münzen aus einem Füllhorn in die erweiterte Vene hineinsprühen sehen. Unter besonders günstigen Beobachtungsverhältnissen wurde an der Blutsäule sogar ein sehr feines oberflächliches Glänzen wahrgenommen, das vermutlich von Reflexen der in Bewegung befindlichen Blutkörperchen herrührt; vielleicht ist auch deren Fetthülle an seiner Entstehung beteiligt.

Die optimale Strömung ist an den Kapillaren des Nagelwallrandes in der Regel nur von kurzem Bestand, da die Bedingungen für sie nur selten auf längere Dauer gegeben sind. Der Übergang in eine langsamere Strömungsart vollzieht sich aber nicht unter gleichmäßiger Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit, sondern er erfolgt ruckweise. Dabei treten Verdickungen der Blutsäule auf, die zunächst in rascher, unregelmäßiger Folge mit großer Geschwindigkeit die ganze Kapillare

durchlaufen. Mit ihrem Seltenerwerden wird die Verlangsamung der Blutströmung immer deutlicher; das Blut wird dann nicht mehr in einem Zuge, sondern in einzelnen Stößen durch die Kapillare hindurchgetrieben. Gleichzeitig treten deren Umrisse schärfer hervor und das Blut wird ausgesprochen zyanotisch. In der vorher kontinuierlichen Blutsäule zeigen sich Lücken von verschiedener Größe, die sie in einzelne Bruchstücke von unregelmäßiger Länge und Beschaffenheit zerlegen. Die Zerklüftung kann so weit gehen, daß die kleineren Stücke wie Körner durch die Kapillare hindurchgleiten, die größeren, den Windungen und Krümmungen des Gefäßes folgend, wie eine Schlange hindurchkriechen. Werden die Stromstöße schwächer, so können Blutklümpchen infolge ihrer Trägheit zurückbleiben, die Blutsäule wird dadurch gleichsam in die Länge auseinandergezogen. Die unregelmäßig unterbrochene oder schlechtweg *„diskontinuierliche Kapillarströmung"* ist somit gekennzeichnet durch das Auftreten ungleichmäßiger, ruckweise sich folgender Stromstöße und der damit verbundenen Herabsetzung der Strömungsgeschwindigkeit, Zerklüftung der Blutsäule und Zyanose derselben. Mit Erlahmen der Bewegungsantriebe schiebt sich das Blut nurmehr träge durch die Kapillaren hindurch und legt kaum noch eine Teilstrecke ihres Gesamtverlaufes zurück, bis mit ihrem gänzlichen Fortfall die Blutzirkulation völlig zum Stillstand kommt und ein Zustand eintritt, dem man als *„Stase"* bezeichnet.

Ist der Kontakt, in dem sich die Blutk. bei optimaler Strömung zueinander befinden, bei der diskontinuierlichen durch die Entstehung klaffender Lücken stellenweise aufgehoben, so verliert die Blutsäule während der Stase bald ihren inneren Zusammenhang und fällt einer vollständigen Auflösung anheim. Die Erythrozyten sintern zusammen, bilden kleine Klumpen und Schollen, die ohne sichtbare Verbindung zueinander im Kapillarlumen regungslos liegen bleiben. Der Kapillarinhalt wird dadurch gleichsam gesiebt und gelichtet, das Blut stockt in den Adern. Für die Beobachtung eignet sich hier am besten eine oberflächlich gelegene, dicke Vene, deren ganze oder teilweise Füllung zur Stase verurteilt ist. Infolge seines außer-

gewöhnlich langen Verweilens an den Stellen des regsten Gasaustausches nimmt das Blut einen schwarz-blau-roten Farbenton an, die Zyanose erreicht damit ihre höchsten Grade. Durch sie erscheinen die Blutklümpchen größer; auch lassen sich an letzteren unregelmäßige Zacken und Buchten erkennen. Bei einer Versuchsperson, bei welcher unter subjektivem pelzigem Gefühl am Finger die Stase bereits stundenlang bestanden hatte, bot das mikroskopische Bild geradezu den Anblick eines Trümmerfeldes, in welchem die schwarzen Schollen regellos verstreut umherlagen. Von Zeit zu Zeit gewahrte man an ihnen leise pendelnde Bewegungen, ohne daß es jedoch zu einer einheitlichen, ausgesprochenen Strömung gekommen wäre. Offenbar werden mit Ausschaltung der übergeordneten Druckkräfte an den Blutsedimenten Kräfte der Massenattraktion frei, die die Zusammenklumpung der Blutk. und damit den scholligen Zerfall der Blutsäule nach bisher noch unbekannten Gesetzen bedingen; andererseits legt der Vergleich mit der aus der Serologie bekannten Agglutination das Vorhandensein biochemischer Reaktionen nahe, deren Wirkungsweise besonders hinsichtlich einer möglichen Bedeutung der weißen Blutk. und Thrombozyten noch ungeklärt ist. Sistieren der Strömung, scholliger Zerfall der Blutsäule bei hochgradiger Zyanose bilden sonach die kennzeichnenden Merkmale der Stase.

Die Stase ist der Endzustand der Strömung überhaupt und der diskontinuierlichen im besonderen, da der Übergang von der optimalen Strömung in sie nur durch letztere vermittelt wird. Umgekehrt kann manchmal die Stase durch eine kürzer oder länger anhaltende kontinuierliche Strömung unterbrochen werden, indem der in der Kapillare stehende Inhalt mit einem Zuge weggefegt und diese gleichsam gereinigt wird. Auch können vorher blutleer und damit unsichtbar gewordene Kapillaren durch nachträglich einsetzende Strömung im Gesichtsfeld neu auftauchen und umgekehrt ganz oder teilweise gefüllte Kapillaren langsam entleert und damit unsichtbar werden.

Der Verlauf einer Kapillare ist bei optimaler Strömung bezeichnet durch eine schleifenförmige, ununterbrochene (Taf. IV, Fig. 13a), bei der diskontinuierlichen durch eine unregelmäßig

strichpunktierte Linie (b); war die Kontinuitätstrennung der Blutsäule sehr stark ausgesprochen und Stase eingetreten, so erscheint der Kapillarverlauf unter Umständen wie getüpfelt oder er ist, wenn nur wenige Reste in der Kapillare zurückgeblieben sind, kaum mehr bestimmbar; die einzelnen Bruchstücke zeigen dabei mehr oder weniger deutlich ausgesprochenen scholligen Zerfall (c).

Unter mehreren eingestellten Kapillaren bestehen meist Unterschiede hinsichtlich der in ihnen vorhandenen Strömungsarten. So kann eine Kapillare kontinuierliche Strömung aufweisen, während die Nachbarkapillare diskontinuierliche, ja sogar vorübergehend Stase bietet. Je nach Umständen werden die Rollen alsbald vertauscht und das Verhältnis umgekehrt. Wenn auch zwei Kapillaren diskontinuierliche Strömung zeigen, so erfolgen doch die einzelnen Stromstöße niemals in einer für beide vollkommen einheitlichen und gleichmäßigen, sondern stets verschiedenen Weise. Trotz dieser weitgehenden individuellen Abweichungen ist es aber doch bei längerer Beobachtung möglich festzustellen, welche von den Strömungsarten vorwiegt. Im allgemeinen sind erstere beim Gesunden durch mildernde Übergänge abgestuft.

Stromschwankungen gelangen manchmal zur Beobachtung, indem vor Übergang der Stase in Strömung der Kapillarinhalt gewissermassen einen kurzen Anlauf nimmt. Rückläufige Strömung in veno-arterieller Richtung wurde einmal an einer oberflächlich gelegenen, subpapillären Vene festgestellt. Die Blutsäule zeigte starken, scholligen Zerfall; da Ausschwemmung und Anreicherung der Blutk. in diesem Falle besonders ausgiebig sind, war ihr Farbenton ein auffallend dunkler. Schließlich schlug die Strömung nach einigen trägen Schwankungen in die rechtläufige um.

Durch ihren Gefäßinhalt, ihre Wandung sowie durch das Nervensystem, dessen Fasern sie umgeben, stehen die Kapillaren mit den übrigen Kreislaufsorganen in steter, ununterbrochener Verbindung; in ihnen hat man daher die Brücke zu erblicken von der Peripherie zum Zentrum, vom Teil zum Ganzen, vom Einzelnen zum Allgemeinen. Für *die Deutung der beobachteten*

Erscheinungen ist es sonach ausschlaggebend die Zusammenhänge zwischen ihnen aufzufinden und klarzulegen, in welcher Weise sie sich miteinander kombinieren, damit lokale Einflüsse von Gesamtwirkungen des Organismus, spezifische Eigenschaften der Kapillaren von solchen der übrigen Teile des Kreislaufsystems geschieden werden können.

Fürs erste ist es auffallend, daß gerade bei der optimalen Strömung an den Kapillaren von der rhythmischen Tätigkeit des Herzens nichts mehr zu sehen ist; denn der in der Aorta vorhandene Strompuls, der eine pulsatorische Vorwärtsbewegung des Kapillarinhalts, wie auch der Druckpuls, der eine pulsatorische konische Erweiterung des Kapillarquerschnitts erzeugen müßte, fehlen an der Beobachtungsstelle. Nun sind zwischen Herz und Kapillaren die Arterien eingeschaltet und es muß die Strömungsart auf dieser Wegstrecke in besonderer Weise modifiziert werden, da eine kontinuierliche Strömung nur durch fortdauernd gleichmäßig wirksame Kräfte hervorgerufen sein kann. Die mit Entfernung vom Zentralorgan durch die Gefäßverzweigungen bedingte Vermehrung der Widerstände, sowie die Verbreiterung des Strombettes führen schon aus physikalischen Gründen zu einer Abschwächung des Strompulses und Verflachung der Pulswelle. Die Tatsache aber, daß der Puls bereits vor seinem Eintritt in das eigentliche Kapillarsystem restlos verschwunden ist, legt die Vermutung nahe, daß der Umschlag in der Strömungsart durch die lebendigen Eigenschaften der Gefäße selbst mitbewirkt ist. Daraus ergibt sich jedoch die Notwendigkeit einer aktiven Beteiligung der Arterien am Kreislauf.

Peristaltische Bewegung kommt am Körper an röhrenförmigen Gebilden, also besonders am Magen-Darmkanal, vor und besteht in axial fortschreitenden Kontraktionsringen. Für diese Zwecke ist der Darm mit einer äußeren, schwächeren longitudinalen und einer inneren, stärkeren transversalen Muskelschicht sowie mit Ganglienzellen ausgerüstet. Indem auf eine Erweiterung des Darmquerschnittes eine Verengerung desselben folgt wird der Darminhalt durch die Tätigkeit der Wandung selbst vorwärts bewegt. Der Darmweite entspricht so der geringste, der Darmenge der größte Innendruck (Taf. IV, Fig. 14 a. Der

Veranschaulichung wegen sind die Größenverhältnisse nicht berücksichtigt).

Auch die Gefäße sind röhrenförmige Gebilde. Ihr Inhalt aber, das Blut, wird nicht durch sie selbst, sondern durch ein besonderes Organ, das Herz, in Bewegung gesetzt, dessen Tätigkeit in den Arterien den Puls erzeugt. Der Gefäßenge entspricht so der geringste, der Gefäßweite der größte Innendruck (Fig. 14b). Bei graphischer Registrierung der Bewegung von zwei einander transversal entgegengesetzten Punkten des Darmes sowie der Arterie ergibt sich das auf Fig. 14 schematisch wiedergegebene Bild. Es bedeutet aber ebenso den Längsschnitt das eine Mal (a) durch ein, z. B. 10 cm, langes Stück Darm bei gleichmäßiger aktiver, das andere Mal (b) durch ein Stück der beliebig, z. B. 10 m, verlängert gedachten Arterie bei gleichmäßiger passiver Bewegung der Wandung. Am Darm ist das primär Gegebene die Darmweite, an den Arterien die Gefäßenge; dort ist die Verengerung des Lumens durch die örtliche Tätigkeit der Darmwandung, hier die Erweiterung durch die Tätigkeit des zentral gelegenen Herzens hervorgerufen. An lebendigen, röhrenförmigen Gebilden bedingen also örtlich ansetzende Bewegungskräfte eine aktive Verengerung, zentral ansetzende eine passive Erweiterung ihres Querschnittes.

Der Puls läßt sich demnach auffassen als eine vom Herzen ausgehende und mit der Geschwindigkeit der Pulsdruckwelle fortschreitende, passive peristaltische Bewegung der Arterienwand, passiv, weil sie nicht zu einem unmittelbaren Strömungseffekt führt, sondern durch die Herztätigkeit erzeugt ist, peristaltisch, weil, wenn auch sekundär, auf eine Erweiterung eine Verengerung des Gefäßquerschnittes folgt. Passive Peristaltik wird aber bei Vorhandensein geeigneter Formbestandteile in aktive umgesetzt. Diese Bedingung ist dem anatomischen Aufbau der Gefäße mit ihrer Gliederung in eine Längs- und Ringsmuskelschicht erfüllt. Der Puls ist daher von einer durch ihn ausgelösten peristaltischen Kontraktion der Arterienwand begleitet. Das nervöse Zentrum für diese Bewegung aber wäre in den Zentralorganen des autonomen Systems gelegen und sie käme demnach auf reflektorischem Wege zustande, weil

auch die Arterien, wie die Gefäße überhaupt, keine Ganglienzellen besitzen. Da die Pulsdruckamplitude aus physikalischen Gründen gegen die Körperperipherie zu immer niedriger wird, die Kontraktionswelle aber ihrerseits zu einer Verflachung der Pulswelle führt, so müßte sie auf die Blutströmung eine immer gleichmäßigere Wirkung ausüben und auf diese Weise käme die kontinuierliche Kapillarströmung zustande. Der Puls bricht sich also nicht an der Körperperipherie wie die Welle am Ufer, er verliert sich auch nicht spurlos in den Gefäßverzweigungen, sondern er wird von diesen aufgenommen und für die Strömung reaktiv verwertet. So bedeutet jeder Herzschlag für die Arterien eine Probe nicht nur auf ihre passiven, sondern auch auf ihre aktiven Fähigkeiten.

Unter günstigen Beobachtungsverhältnissen gewahrt man bei optimaler Strömung an den Rändern der Blutsäule ein lebhaftes Flimmern, fibrillierende Schwingungen, die erstere wie verschwommen erscheinen lassen und von sehr zahlreichen, mit großer Schnelligkeit in arterio-venöser Richtung verlaufenden, wellenartigen Bewegungen der Kapillarwand herrühren. Ihr Ursprungsort ist wohl dort zu suchen, wo der anatomische Aufbau der Gefäße in den der Kapillaren übergeht und man muß sich ihre Einwirkung auf die Blutzirkulation als ungemein intensiv vorstellen, da sie die Strömung in den Kapillaren auf die höchstmögliche Geschwindigkeit bringen. Wenn auch für ihre Entstehung dem Körperpuls eine auslösende Rolle zukommen mag, so kennzeichnet sie doch die Art ihres Auftretens als spezifische Merkmale der Kapillaren.

Die Bewegungskräfte für die optimale Strömung setzen sich demnach zusammen aus der rhythmischen Tätigkeit des Herzens, der Peristaltik der Arterien und den Schwingungen der Kapillarwand; zu ihnen tritt möglicherweise noch eine ununterbrochen anhaltende aktive und passive Ansaugung des Blutes durch die Venen. Sie bewirken in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit und in Kombination mit den physikalischen Eigenschaften der fraglichen Kreislauforgane die Umwandlung des Strompulses der Aorta in die ununterbrochene Kapillarströmung und stellen so *die inneren Bedingungen* dar, unter denen diese sich vollzieht.

Wie sehr sich aber auch der periphere Strömungsmodus der Kapillaren vom zentralen der Aorta unterscheidet, so erkennt man gerade aus der Art seiner Entstehung die dominierende Stellung des Herzens.

Während sich die optimale Strömung in den Rahmen der Tätigkeit des Gesamtkreislaufs einer ununterbrochenen Durchblutung der Gewebe zwanglos einfügt, ist dies bei der diskontinuierlichen nicht der Fall; denn ruckweise Stromstöße von unregelmäßiger Folge, Dauer und Stärke kommen physiologischerweise in den übrigen Gefäßgebieten nicht vor. Sie stellen dadurch einen rein örtlichen Vorgang dar. Schon ihr anatomischer Aufbau aus einem Endothel, das von kontraktilen Zellen gitterförmig umschlossen ist, weist den Kapillaren innerhalb der Kreislauforgane eine gewisse Sonderstellung zu. Nun ist die hervorragendste Eigenschaft des Herzens seine weitgehende Autonomie, die es befähigt seine Funktion innerhalb bestimmter Grenzen selbständig und unabhängig vom Organismus zu verrichten. Gegen die Peripherie zu nimmt einerseits sein Einfluß als übergeordnetes Bewegungsorgan immer mehr ab, andererseits treten an den Kreislauf mit der Entfernung vom Herzen neue Aufgaben heran; so stellt die stetem Wechsel unterworfene Blutverteilung insbesondere an den Extremitäten mit ihrem Bewegungsmechanismus seiner Anpassungsfähigkeit an die jeweiligen Bedürfnisse erhöhte Anforderungen. Entsprechend den veränderten Bedingungen muß also den Gefäßen gegenüber dem Herzen eine gewisse Selbständigkeit eingeräumt werden. Die aktive Beteiligung der Arterien am Kreislauf führt aber zu einer kontinuierlichen Kapillarströmung, die diskontinuierliche ist daher eine örtliche Erscheinung, die unabhängig von den in den übrigen Kreislaufsgebieten bestehenden Strömungsverhältnissen auftritt, und aufzufassen als der sinnfälligste Ausdruck selbständig an den Gefäßen auftretender Bewegungsantriebe.

Für die Art der Strombeförderung kommen nur lokal hervorgerufene peristaltische Bewegungen der Kapillarwand in Frage. Wird in einem Schlauch eine Kugel durch einen Ring vorwärts bewegt, so muß der Durchmesser der Ringöffnung kleiner sein, als der der Kugel (Taf. IV, Fig. 15a). Die Ver-

dickungen der Blutsäule, welche bei Übergang der optimalen Strömung in die diskontinuierliche die Kapillare durchlaufen, sind durch passive und möglicherweise auch aktive Dilatation der Kapillarwand erzeugt und müßten von einem kapillaren Kontraktionsring gefolgt sein; der zwiebelknaufförmige distale Teil des Abschnittes der Blutsäule wäre somit von dem unverändert bleibenden proximalen durch eine Einkerbung abgesetzt (Fig. 15 b). In Wirklichkeit wurde bei einer Versuchsperson mit faßförmig aufgetriebenen Übergangsstücken (vgl. Fig. 12 a_7) ein in arterio-venöser Richtung gleichmäßig fortschreitender, peristaltischer Kontraktionsring einwandfrei beobachtet (Fig. 15 c). Während seines Ablaufs kamen die vorher deutlich sichtbaren, lebhaft wogenden Bewegungen des Kapillarinhalts in Wegfall und setzten erst nach einiger Zeit wieder ein. Auch boten die Stücke manchmal Kaliberschwankungen, bei denen die spindelförmige Beschaffenheit vollständig ausgeglichen wurde und die Kapillare nur gleichmäßig verdickt erschien. Die Strömung war, wenn auch verlangsamt, stets kontinuierlich. Eines der Übergangsstücke wurde durch einen Glasstab in der Mitte abgequetscht. Daraufhin erfolgte sowohl eine starke Kontraktion der beiden Schenkel, als auch eine beträchtliche Retraktion der Trennungshälften, so daß sich zwischen ihnen eine größere Lücke bildete. In diese hinein ergoß sich zeitweise in trägen, unregelmäßigen Schüben Blut. Die Ränder der beiden künstlich erzeugten Kapillarostien erschienen nach innen leicht eingerollt. Zwischen sie spannte sich alsbald ein feinmaschiges, wahrscheinlich aus Fibrinfasern bestehendes Netzwerk, das rote Blutkörperchen in sich schloß. — Das Wesen der diskontinuierlichen Kapillarströmung bilden demnach selbständig auftretende peristaltische Kontraktionsringe der Kapillarwand von ungleichmäßiger Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Frequenz, wobei die Verminderung der einen mit einer Herabsetzung der anderen einhergeht; ihr Vorkommen legt die Möglichkeit des Vorhandenseins analoger Bewegungserscheinungen in den anderen Gefäßgebieten nahe.

Ist der solide Zusammenhang mit dem übrigen Kreislauf, den die optimale Kapillarströmung gewährleistet, bei der diskon-

tinuierlichen bereits gelockert, so geht er mit Eintritt der Stase auf kürzere oder längere Zeit vollständig verloren; denn die Ausschaltung sämtlicher örtlicher wie zentraler Bewegungskräfte bedeutet eine lokale Sperrung des Kreislaufs. Entweder verbleibt der Kontraktionsring an dem stromaufwärts gelegenen Ort seiner Entstehung oder er verbreitet sich, dieselbe entleerend, über die ganze Kapillare und bewirkt in tetanischer Zusammenziehung als Gefäßpasmus einen hermetischen Verschluß des Kapillarlumens.

Die rückläufige Kapillarströmung ist eine rein örtliche Erscheinung, die sonst physiologischerweise nur selten vorkommt. Ihre Entstehung verdankt sie ausschließlich peripheren Kräften und ist auf Druckschwankungen infolge Veränderungen im Kontraktionszustand der Gefäße zurückzuführen; ob hiebei außerdem noch, wie beim Darm, antiperistaltische Bewegungen der Gefäßwandungen eine Rolle spielen, konnte nicht festgestellt werden.

Für das bunte Spiel ihrer Tätigkeit, zu dem sie ihr graziler anatomischer Aufbau erst befähigt, findet man somit die Kapillaren als den entlegensten und zugleich funktionell wichtigsten Teil des Kreislaufsystems auch mit besonderen Kräften ausgestattet, Kräfte, die, z. B. durch Suprarenin, einheitlich zusammengefaßt, elementare Wirkungen hervorzurufen vermögen.

Welches sind nun *die äußeren Bedingungen*, unter denen die einzelnen kapillaren Strömungsarten sich vollziehen, *und wie* sind sie *biologisch zu bewerten?* Alle Lebensvorgänge erfahren durch Erwärmung eine Steigerung ihrer Intensität, und zwar nimmt diese von einem Temperaturminimum bis zu einem Temperaturoptimum zu, dann wieder ab bis zu einem Temperaturmaximum, jenseits dessen das Leben erlischt. Die Strömungsgeschwindigkeit ist daher um so rascher, je wärmer Hand und Finger gehalten werden; die Temperatur des Untersuchungsraumes sowie der Fingerauflage haben demnach auf das Ergebnis entscheidenden Einfluß. Während des Bestandes des Temperaturoptimums ist also stets die optimale Strömung vorherrschend und die bei ihr zu beobachtenden Schwingungen der Kapillarwand sind als Kennzeichen höchster kapillarer Lebenstätigkeit aufzufassen. Der frischrote Farbenton läßt auf ausgiebige

Durchblutung der Gewebe schließen und damit ist eine reichliche, ununterbrochene Nahrungszufuhr und eine gleichmäßige Durchwärmung der Haut gesichert. Auf diese Weise vereinigt die optimale Kapillarströmung die günstigsten Bedingungen in sich für die bestmögliche Versorgung der Organe und bildet so die Grundlage und Voraussetzung für die Erhaltung und einen ungestörten Ablauf der Lebensvorgänge. Auch ist anzunehmen, daß die Masse der Blutkörperchen durch die Schwingungen der Kapillarwand nicht nur gleichsam vorwärtsgepeitscht, sondern auch kräftig untereinander vermengt und geknetet und so der Stoffaustausch durch die gegenseitige innige und mannigfaltige Berührung mechanisch gefördert wird. Die optimale Kapillarströmung ist daher als die biologisch hochwertigste Strömungsart zu bezeichnen.

Kühlt sich während des Versuches der Finger der Versuchsperson langsam ab, so sieht man die vorher optimale Strömung allmählich in die diskontinuierliche übergehen, die bei weiterem Sinken der Temperatur immer ausgesprochener wird. Kennzeichnend ist dabei, daß, während ein gleichmäßiges Fortbestehen des Optimums der Temperatur zu einer ununterbrochenen Strömung, eine gleichmäßige Abnahme der ersteren nicht auch, wie man erwarten sollte, zu einer gleichmäßigen, sondern ruckweise erfolgenden Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit führt. Unter der Einwirkung des immer stärker werdenden Kältereizes sind die lebhaften Schwingungen der Kapillarwand durch gröbere und langsamere, aber zugleich tiefer greifende peristaltische Kontraktionsringe ersetzt worden, die die Strömung nur noch notdürftig aufrecht erhalten. Die gleichzeitig bestehende Cyanose weist auf eine schlechte Durchblutung und damit auf eine ungenügende Ernährung der Gewebe hin und das Ergebnis ist schließlich eine Abschwächung der vitalen Prozesse. Die peristaltischen Kontraktionsringe der Kapillarwand sind daher das Merkmal herabgesetzter kapillarer Lebenstätigkeit und es muß im Hinblick auf den verminderten Strömungseffekt die diskontinuierliche Kapillarströmung als für die Erhaltung der Lebensvorgänge weniger günstig, d. i. als biologisch geringwertiger bezeichnet werden.

Während der Stase vollends hört jede Versorgung der Gewebe auf; denn die von ihr betroffenen Gebiete sind von der Blutzufuhr abgeschnitten und die Gefahr der Asphyxie ist für sie in bedrohliche Nähe gerückt, da sie infolge der Anhäufung der Stoffwechselprodukte gewissermaßen im eigenen Kote ersticken. Damit ist aber auch bedeutet, daß dieser Zustand nicht auf die Dauer anhalten kann, sondern über kurz oder lang zu einer Entscheidung führt, indem er entweder, die Grenze, innerhalb deren Leben gerade noch möglich ist, überschreitend, mit dem lokalen Gewebstod endet oder rückläufig trotz des weiterhin einwirkenden Kältereizes sich optimalen Bedingungen wieder nähert. Dieser Wendepunkt ist dann erreicht, wenn die vorhandene Nahrung den durch die Einschränkung der Lebenstätigkeit herabgesetzten Bedarf übersteigt, so daß durch den auf diese Weise entstandenen Überschuß eine Erhöhung derselben möglich wird und der Gefäßkrampf sich löst. Erst in diesem Augenblick ist der Zustand dadurch, daß er sich in sich selbst erschöpft, innerlich überwunden und die Gefahr der Erstickung für die Gewebe behoben. Die Stase bezeichnet also die kritische Phase der kapillaren Lebenstätigkeit und der sie bedingende Spasmus ist als deren primitivste Form, d. i. als eine Lähmungserscheinung aufzufassen.

Während der Dauer einer Beobachtung können sich an derselben Schleife alle drei Bewegungsarten der Kapillarwand zeigen. Ihr Zustandekommen erfordert indes eine verschiedene Nahrungsmenge, deren Zufuhr sich aus den jeweiligen Strömungsverhältnissen ergibt. Die meiste benötigen die Schwingungen der Kapillarwand bei der optimalen, eine geringere die langsameren peristaltischen Kontraktionsringe bei der diskontinuierlichen Strömung; am anspruchlosesten endlich ist der Spasmus, für dessen Unterhaltung die an Ort und Stelle liegenden Vorräte genügen. So sind die drei Bewegungsarten der Kapillarwand Schutzeinrichtungen des menschlichen Körpers und Beispiele für seine Ökonomie, seine Anpassungsfähigkeit an die vorhandene Energiemenge.

Dadurch, daß die Kapillaren des Nagelwallrandes in allen ihren Teilen unmittelbar unter der Cutis gelegen sind, unter-

scheiden sie sich von denen anderer Hautbezirke, z. B. des Nagelwalles, die nur mit ihrem Übergangsstück der Körperoberfläche nahe kommen. So günstig dieser Umstand für die Beobachtung ist, so bieten sie doch aus diesem Grunde äußeren Reizen eine unverhältnismäßig große Angriffsfläche dar und es ist daher anzunehmen, daß dem anatomischen *Lokalzeichen* auch ein funktionell-biologisches entspricht. Die Darlegung der Verhältnisse aber, inwieweit sich die Kapillaren des Nagelwallrandes durch ein besonderes Verhalten auszeichnen und die für ihre Tätigkeit aufgestellten Gesetze sich auf andere Hautregionen übertragen lassen, ist Aufgabe der topographischen Dermatoskopie.

Zur *weiteren Durchführung des Versuches* ergreift die Hand, welche vorher das Mikroskop einstellte — nach der auf Fig. 10 wiedergegebenen Anordnung war es die rechte — das Gebläse des Tonometers um den Manometerdruck möglichst rasch, aber doch schonend über das Blutdruckmaximum zu erhöhen. Für diesen Zweck hat sich der Gebrauch eines Metallgebläses am besten bewährt, weil sich mit ihm in wenig Zügen ein annähernd gleichmäßiger Druckanstieg erzielen läßt, während bei Verwendung eines Kautschukgebläses einige Zeit zur Füllung des 2. Kompressionsballons nötig ist, innerhalb welcher nach W e i ß der Venendruck infolge der so erzeugten künstlichen Stauung etwa 18 mm Hg ansteigt. Der durch die beginnende Abklemmung der Brachialis verminderte Zustrom von Blut macht sich bald durch eine ziemlich gleichmäßige und einheitliche Verlangsamung der Kapillarströmung geltend. Durch einen Blick auf die Skala des Manometers überzeuge man sich, ob der gewünschte übermaximale Druck erreicht ist. Zur Sicherheit werde er mindestens 50 mm über dem vorher festgestellten Blutdruckmaximum angesetzt; nur bei sehr hohen Blutdruckwerten über 250 mm Hg können Schwierigkeiten entstehen. Der übermaximale Druck muß nunmehr für einige Zeit auf gleicher Höhe verbleiben, das Tonometer also völlig luftdicht sein; schadhafte Manschetten, aus denen Luft entweicht, sind, wenn sie auch zur Bestimmung des Blutdrucks noch genügen, für einen ungestörten Ablauf des Versuches ungeeignet.

Mit Überschreitung des Blutdrucksmaximums wird die Arterie ganz komprimiert und jede Blutzufuhr unterbunden. Der mit einer Flüssigkeitsverschreibung einhergehende Druckausgleich zwischen arteriellen und venösem Gefäßgebiet bewirkt in der Regel beim Gesunden eine kurze Nachströmung. Der Übergang in die durch die Abklemmung der Arterie bedingte Stase vollzieht sich also nicht schlagartig, sondern allmählich. Häufig zeigen sich dabei unregelmäßige Schwankungen in der Kapillarströmung, auch können nach bereits eingetretener, vorübergehender Stase noch nachträglich einige weniger nachhaltige, trägere Schübe folgen, die langsam zur Ruhe überleiten. Die mehr oder weniger deutlich ausgesprochene Diskontinuität der Nachströmung ist auf die Tätigkeit der Gefäße insbesondere der Arterien zurückzuführen. Manchmal ist überhaupt keine vorhanden; ihr Ausfall ist dann durch örtliche Widerstände bedingt, die den Übertritt von Blut gerade durch die eingestellte Kapillare verhindern.

Mit Rücksicht auf die Nachströmung warte man mit dem Absenken des Manometerdrucks solange, bis die untrüglichen Kennzeichen der Stase eingetreten sind. Alsdann ergreift die Hand, die das Gebläse bediente, die Druckablaßschraube des Tonometers. Das Auge des Beobachters bleibt zunächst noch unverwandt auf die Kapillare gerichtet; denn nun kommt es darauf an unverzüglich den Wiederbeginn der Kapillarströmung zu erfassen, damit der hierbei herrschende Blutdruck rechtzeitig an der Skala des Manometers abgelesen werden kann. Diese Feststellung bezeichnet den *kritischen Augenblick des Versuches*, alle weiteren Schlüsse bauen sich auf sie auf. Technisch bietet ihre Ausführung bei einiger Übung keine Schwierigkeiten. Man versäume auch hier nicht die vergleichende Beobachtung mehrerer Kapillaren, da der Wiederbeginn der Strömung durch örtliche Einflüsse verzögert, ja sogar ganz unterdrückt werden kann, wie in einem Fall, bei dem sie erst einige Zeit nach vollständigem Absenken des Manometerdrucks wieder in Gang kam. In der Regel erfolgt jedoch der Wiederbeginn in einheitlicher Weise und kontinuierlicher Strömungsart und das cyanotische Blut wird rasch durch frischrotes arterielles verdrängt. Eine aktive

Beteiligung der Kapillaren wurde dabei nie beobachtet. Anscheinend setzen die kapillaren Hilfskräfte für die Blutbewegung nur dann ein, wenn der Kreislauf ganz sich selbst überlassen bleibt, kommen aber sofort in Wegfall, sobald ihr empfindlicher Mechanismus durch gröbere äußere Eingriffe, wie sie der Versuch mit sich bringt, gestört wird. Bei sehr langsamem, vorsichtigem Absenken des Manometers gelingt es manchmal die durch den rhythmischen Zustrom erzeugten pulsatorischen Erschütterungen des Gefäßinhaltes bis in die Kapillaren vorzutragen. Dabei handelt es sich nicht nur um feine oscillatorische Schwingungen der Blutsedimente, sondern es kann sogar dicht unterhalb des Blutdruckmaximums zu einem kurzen kapillaren Strompuls kommen. Durch Anhalten des Manometerdrucks auf einen bestimmten Senkungsdruck wird die Strömung verlangsamt und diskontinuierlich; auch kann neuerdings vorübergehend Stase eintreten. Mit dem Wiederbeginn der Kapillarströmung und der Feststellung des bei ihm herrschenden Blutdrucks ist der Versuch beendet.

Die *Handhabung* der in ihrer Aufmachung ansprechenden Methode benötigt für den Geübten etwa eine Viertelstunde pro Versuch. Da das Tonometer unter der Ärzteschaft heutzutage mehr und mehr Eingang gefunden hat und ein Mikroskop zur Ausrüstung des praktischen Arztes, dem die Methode gewidmet sein soll, gezählt werden darf, so wäre ihr von vornherein eine weitere Verbreitung gesichert, zumal sie keine Neuanschaffungen erfordert und die Anbringung der Linse sowie die Herstellung einer Fingerauflage kaum Schwierigkeiten bereiten dürften. Für ihre *Anwendung* empfiehlt es sich sie nicht auf längere Zeit auszudehnen, da bei empfindlichen Personen infolge der Stauung ein störendes, unangenehmes Gefühl auftreten kann; bei hochgradiger Arteriosklerose sollte sie ganz unterbleiben. Immerhin hat W e i ß von der Tätigkeit des prakt. Arztes vielleicht doch nicht ganz die richtige Vorstellung, der seinen Blick mehr auf das große Ganze der Gesamtheit des Organismus gerichtet halten muß und seine Zeit nicht in umständlichen Spezialuntersuchungen zersplittern darf. Sieht er sich hiezu dennoch genötigt, so muß das Ergebnis entscheidend und sicher

sein; die entscheidende Bedeutung liegt in der Natur des festzustellenden Krankheitszustandes begründet, die Sicherheit aber muß die Zuverlässigkeit der Methode gewähren. Weiß ist jedoch von der Erreichung dieses Zieles lange entfernt. —

Wenn man auch die Methode als solche ablehnen muß, so sind doch die Befunde der kapillaren Beobachtung für einige *Krankheitszustände* so umschrieben, daß man von einer Kapillardiagnose sprechen könnte.

Am ausgeprägtesten sind die Merkmale bei den mit venöser Stauung einhergehenden, *dekompensierten Herzfehlern*. Die Kapillaren sieht man meist in ihrer Gesamtlänge erheblich verdickt, oft auch stark gekrümmt und zwar ist an beiden Abweichungen der venöse Schenkel in der Regel mehr beteiligt als der arterielle. Ihre Farbe ist wie die der Umgebung, insbesondere des dem Nagelwall zugehörigen Gebietes ausgesprochen cyanotisch. Infolge der Erweiterung des Strombettes und der Verminderung des Druckgefälles ist die Strömung erheblich verlangsamt und oft diskontinuierlich, die Blutsäule manchmal stark zerklüftet. Im allgemeinen fehlt der kapillaren Lebenstätigkeit der mannigfaltige Wechsel, der ihr physiologischerweise zukommt, wahrscheinlich als Kennzeichen einer durch die verschlechterte Ernährung hervorgerufenen Zellschädigung, vielleicht wird auch durch den erhöhten Innendruck die Entstehung kapillarer Bewegungen mechanisch erschwert oder innerhalb bestimmter Grenzen ganz verhindert. Die Nachströmung ist, wenn überhaupt vorhanden, nur von kurzer Dauer. Bei längere Zeit bestehender Abklemmung kann sie rückläufig werden; träge, unregelmäßige Schwankungen nach der arteriellen wie venösen Seite hin sind bei ihr nicht selten; derselbe Kapillarinhalt wird dann unter starker Kontinuitätstrennung mehrmals durch die gleiche Kapillare hindurchbefördert. Der Wiederbeginn der Strömung kann verzögert sein. Das Gesamtbild macht den Eindruck einer mehr oder weniger hochgradigen Beeinträchtigung der Funktion.

Eine während des Versuches auftretende *akute Herzschwäche* machte sich dadurch bemerkbar, daß die zuerst raschere Strömung allmählich träger und stark diskontinuierlich

wurde. Schließlich setzte sie ganz aus und es folgte nach kurzer Stase in unregelmäßigen Schüben eine längere veno-arterielle Rückströmung, während welcher größere und kleinere, dunkelblau-rot gefärbte Blutklumpen wie ziellos in den Kapillaren einherschwammen. Eine Wirksamkeit örtlicher Bewegungskräfte konnte in diesem Stadium nicht beobachtet werden; auch wies die Einheitlichkeit der Erscheinungen, die gleichzeitig an mehreren Kapillaren auftraten, auf eine zentral gelegene Ursache hin. Denn obgleich die Rückströmung durch die Tätigkeit der Gefäße und damit peripher bedingt ist und nicht als Teilerscheinung einer entsprechenden Bewegung des Gesamtkreislaufs angesehen werden kann, ist sie doch letzten Endes auf das Versagen übergeordneter, regulativer Impulse nervöser Art zurückzuführen und veranschaulicht dadurch die weitgehende Abhängigkeit der kapillaren Lebenstätigkeit vom Zentralnervensystem. So kombiniert sich in diesem Falle die akute funktionelle Insuffizienz des Herzens mit der der Gefäße in einer Weise, daß es schließlich zu einer vorübergehenden Einstellung der kapillaren Lebenstätigkeit kommt. Nach Behebung des Schwächeanfalls besserte sich alsbald auch die Blutzirkulation.

Bei einem Herzkranken, der vorher träge, stark diskontinuierliche Strömung aufwies, bewirkte die Verabreichung von *Digitalis* eine raschere, teilweise kontinuierliche Durchblutung der Kapillaren. Die zuerst kaum vorhandene Nachströmung wurde in eine länger dauernde, nachhaltigere umgewandelt.

Alle *Hypertonieen* sind gekennzeichnet durch eine meist jagende, kontinuierliche Strömung; die Nachströmung hält oft auffallend lang gleichmäßig an, der Wiederbeginn der Kapillarströmung erfolgt schlagartig dicht unterhalb des Blutdruckmaximums. Ob die behauptete und häufig auch beobachtete Schlängelung der Kapillaren sowie ihre größere Länge für *Arteriosklerose* kennzeichnend sind, wurde nicht einwandfrei bestätigt, da derselbe Befund auch an Personen erhoben werden kann, die keinerlei Symptome dieser Erkrankung aufweisen.

Ein spezifischer Einfluß *organischer Rückenmarksleiden* (Tabes dorsalis, Brown-Séquardsche Lähmung), von *Nierenerkrankungen* aller Art sowie der *Tuberkulose* und *Lues*, des-

gleichen von *Gicht* und *Diabetes* konnte nicht mit Sicherheit festgestellt werden. Bei einer *Sklerodermie* war die Untersuchung infolge der Verdickung der Oberhaut, die die Kapillaren nur ganz verschwommen durchscheinen ließ, nicht durchführbar.

Gewissermaßen ein Gegenstück zu ihrem durch die Cyanose bedingten stärkeren Hervortreten bei Stauungszuständen bildet der Farbenton der Kapillaren bei hochgradigen *Anaemien*. Unter 50% Hb wird es schwierig sie überhaupt noch zu erkennen, da sie sich infolge ihrer Blässe nur wenig von ihrer Umgebung abheben. Kennzeichnend ist ihre verwaschene, ins matt lehmfarbene einschlagende Tinktion, vorallem auch des dem Nagelwall zugehörigen Gebietes, in dem die Kapillaren als kleine Pünktchen schwach sichtbar sind. Die Strömungsverhältnisse boten keine Besonderheit.

Wesentlich andersartige Merkmale kennzeichnen die mit funktionellen Gefäßstörungen einhergehende *Neurasthenie*. Durch die meist zarte, transparente Haut sind die Kapillaren in der Regel sehr gut sichtbar. Unter ihnen findet man die größten Kaliberunterschiede sowohl im Verhältnis der beiden Schenkel zueinander als auch der einzelnen Schleifen unter sich, indem neben sehr dünnen abnorm verdickte angetroffen werden können. Die Blutströmung ist charakterisiert durch ihre große Hinfälligkeit, den schroffen, jähen, unvermittelten Wechsel der einzelnen Strömungsarten, bei dem mildernde Übergänge oft fehlen. Die sehr zahlreichen Stromstöße sind meist schwächlich, von kurzer Dauer und nur wenig nachhaltig. Die kontinuierliche Strömung ist selten vertreten und kann ohne erkennbare Ursache plötzlich in Stase übergehen. Durch das Vorwiegen der diskontinuierlichen Strömungsart wird der Eindruck einer übergroßen Lebhaftigkeit erweckt, einer in den Kapillaren herrschenden vasomotorischen Unruhe. Bei psychischer Erregung vollends, wie sie einmal durch Angst vor dem Experiment hervorgerufen worden war, steigert sich der Zustand ins Regellose. Jede Kapillare arbeitet dann für sich, in wirrem Durcheinander folgt ein Stromstoß dem andern und der Anblick erinnert an eine von Sturm bewegte Wasserfläche, auf der mit wildem Ungestüm eine Welle die andere überstürzt, das Zeichen steht auch hier

gleichsam auf Sturm. Infolge des ausschließlichen Vorhandenseins einer abnorm diskontinuierlichen Strömungsart verliert die Blutsäule ihre Kompaktheit und nimmt einen leicht cyanotischen Farbenton an. Die gemachten Beobachtungen, die vielleicht an das Herzflimmern erinnern können, erstrecken sich auf alle im Gesichtsfeld eingestellten Kapillaren; die Ursache für ihre Entstehung ist somit zentral in dem übergeordneten sympathischen Nervensystem gelegen, das sich bei psychischen Erregungen in einem Zustand hochgradiger Alteration befindet. Von ihm aus eilen die Impulse in ungehemmter Flucht zur Peripherie um sich hier unter Überrumpelung örtlicher Widerstände auszutoben. So entsteht ein Bild, das überstarke zentrale Einflüsse mit einer übertriebenen Betonung der individuellen Eigenschaften der Kapillaren in sich vereinigt, und man erkennt in ihm die allerfeinsten peripheren Auswirkungen von Vorgängen, die man infolge des Hervortretens der klinischen Symptome der iactatio und acceleratio cordis mehr als rein zentrale anzusehen gewohnt ist. Die Nachströmung ist ebenfalls oft von kurzen, ungleichen Stößen unterbrochen, also besonders ausgesprochen diskontinuierlich.

Der Zustand trägt im ganzen den Stempel schwerer Zerrüttung, einer hochgradigen Disharmonie und Disordination, da der erzielte Strömungseffekt dem Kraftaufwand bei weitem nicht entspricht, und stimmt so im wesentlichen mit dem Grundzug der nervösen Konstitution überein. Es fehlt ihm das dem gesunden Körper eigene Streben nach Ausgleich der inneren und äußeren Bedingungen, das die Tätigkeit der Kapillaren nie allzuweit vom Strömungsoptimum sich entfernen, vielmehr als Ziel die Aufrechterhaltung des Kreislaufs unter möglichst günstigen Bedingungen deutlich erkennen läßt und dadurch der Kapillarfunktion eine gewisse Stetigkeit verleiht. Diese Art der krankhaften diskontinuierlichen Strömung indes nähert sich in ihrem schließlichen Ergebnis mehr der Stase, da die gleichzeitig deutlicher ausgesprochene Cyanose auf eine schlechtere Durchblutung hinweist. So bedeutet die nervöse Hyperfunktion letzten Endes eine Abschwächung der Intensität der Lebensvorgänge. Auf der anderen Seite aber findet man auch Kräfte

der Erhaltung am Werk; denn der Energieverbrauch für die schlaffen, matten Bewegungen ist ein verhältnismäßig geringer. Wenn aber am menschlichen Körper jede Bewegung nicht nur eine Reaktion auf einen Reiz, sondern diese selbst wieder einen Reiz darstellt, der um so stärker einwirkt, je rascher er abläuft, die letzte Ursache hiefür jedoch im Organismus selbst gelegen ist, so liefert der Befund ein Beispiel für die endogene Reizsucht der neuropathischen Veranlagung.

Den interessantesten Befund aber erbrachte die Kapillarbeobachtung bei einer *Aorteninsuffizienz*. Hier trat nämlich das in verlangsamter, kontinuierlicher Strömung befindliche, leicht cyanotisch gefärbte Blut einheitlich und gleichmäßig in Pausen von einigen Pulsintervallen wechselweise aus den Kapillaren zurück, sodaß diese völlig unsichtbar wurden. Subjektive pulsatorische Sensationen entstehen als Kennzeichen erhöhter örtlicher Lebenstätigkeit nahe der Körperoberfläche da, wo die Blutzirkulation besonders angeregt ist, also an Körperstellen, die leicht stärkerem Druck und Zug ausgesetzt sind, wie Handteller und Fußsohlen, oder an entzündeten, z. B. durch Furunkel erkrankten Hautbezirken, und äußern sich in klopfenden Gefühlen, die bei letzteren von bohrenden Schmerzen begleitet sind. Sie kommen dadurch zustande, daß die Gefäßwand für den im Körper stets vorhandenen Reiz der Pulsbewegung anspruchsfähiger wird und die Reizschwelle der sensiblen Endorgane während der Dauer der Erregung ihrerseits herabgesetzt ist. Wenn somit der Puls für die Arterien einen Reiz darstellt, auf den sie je nach den Verhältnissen in verschiedener Weise reagieren, so ist im Ablauf der Pulswelle die Art des Ablaufs der Reizeinwirkung gegeben und Veränderungen desselben können je nach den Umständen auch Veränderungen in der Reaktion der Gefäße bewirken. Nun ist die Kurve des bei Aorteninsuffizienz vorhandenen pulsus celer infolge des steileren Druckabfalles spitzer als die des normalen. Der gesunde Puls ist daher für die Arterien ein verhältnismäßig milder Reiz und gleicht so mehr einem sanften mit einem flachen, bei Aorteninsuffizienz aber mit einem scharfkantigen Gegenstand geführten Stoß, also eher einem Nadelstich, der bei gleichzeitiger Hyper-

trophie des linken Ventrikels noch dazu mit gesteigerter Gewalt ausgeübt wird. Als Reaktion auf solch einen außergewöhnlichen Reiz ist die intermittierende Unterbrechung der Kapillarströmung bei Aorteninsuffizienz aufzufassen und zwar würde sie in einer auf reflektorischem Wege übermittelten, gegen die Venen fortschreitenden Kontraktionswelle bestehen, die einen wechselweisen Verschluß der Kapillaren erzeugt und für deren Auslösung mehrere Pulsschläge beruhend auf dem Gesetz der Summation der Reize notwendig sind, ohne daß es aber jedesmal zu einer ausgesprochenen Stromunterbrechung kommen müßte.

Damit ist ein innerer Zusammenhang mit dem vorausgehend geschilderten Krankheitszustand gewonnen. Dort ein abnorm rascher, hier ein verzögerter Reizumsatz, der dort zu zahlreichen und schwächlichen, hier zu selteneren, dafür aber um so nachhaltigeren Gefäßkontraktionen führt; dort bedingt durch eine angeborene oder erworbene Schwäche des übergeordneten, insbesondere des sympathischen Nervensystems, hier durch eine zentral, unmittelbar am Herzen gelegene organische Erkrankung; in beiden Fällen aber eine schwere Schädigung der kapillaren Lebenstätigkeit.

Die *Methode* ist also *unbrauchbar:*

1. weil die von Weiß gemachten Angaben über ihre Durchführung zu unbestimmt,

2. weil die Ergebnisse der Kapillarforschung noch zu wenig abgeschlossen sind, als daß sie für eine exakte Methode als Grundlage in Betracht kommen könnten;

3. ist sie für den praktischen Arzt ungeeignet, weil sie zu speziell und zu zeitraubend für ihn ist.

Es sei mir gestattet, Herrn Geheimrat Professor Dr. von Müller für die liebenswürdige Übernahme des Referates, Herrn Professor Dr. Kämmerer für die gütige Anweisung des Themas sowie für die freundliche Überlassung von Patienten aus dem Ambulatorium der II. med. Universitäts-Klinik und der zur Durchführung der Versuche notwendigen Instrumente aufrichtig zu danken.

Lebenslauf.

Geboren wurde ich, Ferdinand S c h m i d t , am 6. 9. 1890 zu Tauberscheckenbach, Bez.-Amt Rothenburg o. T., als Sohn des evangel.-luth. Pfarrers Friedrich Karl S c h m i d t.

Ich besuchte das Progymnasium Windsbach und das humanistische Gymnasium Ansbach, welch letzteres ich mit der Ablegung der Reifeprüfung im Jahre 1909 verließ.

Vom 1. 10. 1909 bis 30. 9. 1910 diente ich beim vorm. kgl. bayer. 19. Inf.-Regiment in Erlangen als Einjährig-Freiwilliger unter gleichzeitiger Immatrikulation an der dortigen Universität im 1. Semester als stud. theol. et med., im 2. als stud. theol. Von Herbst 1910 an studierte ich ebenda Medizin um nach Ablegung der ärztlichen Vorprüfung im Sommer 1912 den darauffolgenden Herbst die Universität München zu beziehen.

Im Heere stand ich als Unteroffizier d. R., Feldunterarzt, Feldhilfsarzt, Assistenzarzt d. R. und Oberarzt d. R. vom 3. VIII. 1914 bis 31. X. 1919, davon 4 Jahre im Felde. Nach meiner Entlassung aus dem Heere wurde ich am Res.-Teillazarett Puchheim als assistierender Arzt vertraglich angestellt. Im Anschluß an dessen Auflösung erhielt ich am 1. V. 1920 die Stelle des Lagerarztes am dortigen Kriegsgefangenenlager übertragen um nach dessen Auflösung im Februar 1921 in gleicher Eigenschaft beim Durchgangslager Lechfeld II Verwendung zu finden. In der Pause nach dessen im Februar 1922 stattgefundenen Auflösung wurde die Arbeit unter Zugrundelegung der seinerzeit an Ort und Stelle gemachten Aufzeichnungen angefertigt.

Das Staatsexamen bestand ich mit dem 28. III. 1917, von welchem Tage auch meine Approbation als Arzt datiert.

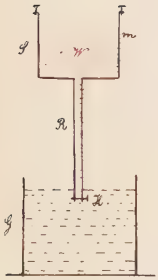

Fig. 1.

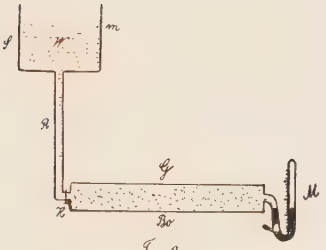

Fig. 2 a

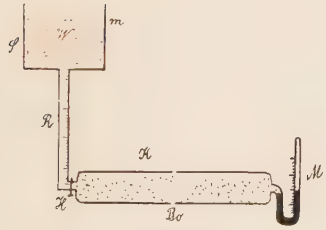

Fig. 2 b.

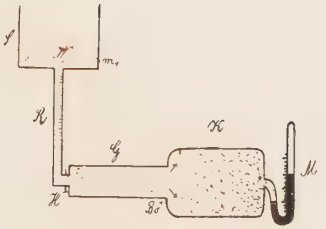

Fig. 2 a b.

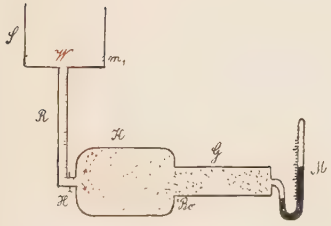

Fig. 2 b a.

Fig. 3

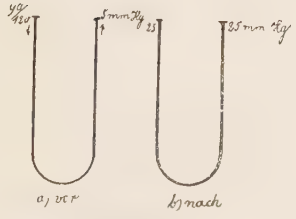

Fig. 4.

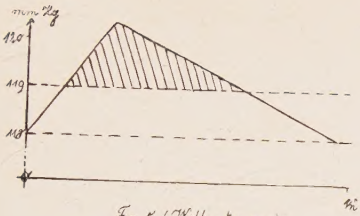

Fig. 5. (Wellenkurve).

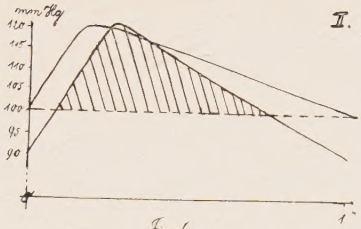

Fig. 6

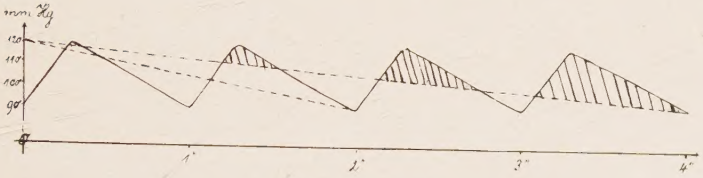

Fig. 7.

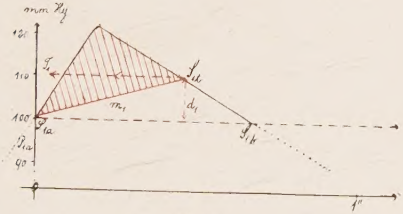

Fig. 8.

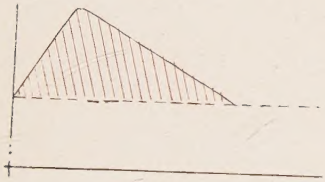

Fig. 8 a_1

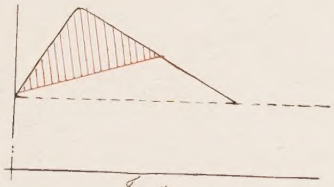

Fig. 8 a_2.

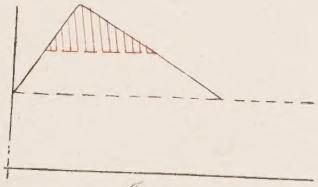

Fig. 8 a_3.

Fig. 10.

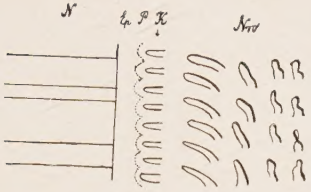

Fig. 11

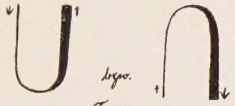

Fig. 12.

Fig. 12 a.

Fig. 13.

Fig. 13.

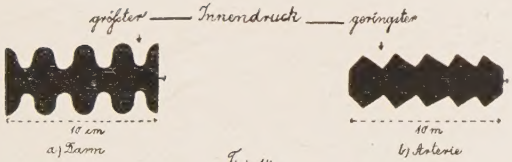

Fig. 14.

Fig. 15.